

О СООТНОШЕНИЯХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЦИКЛОИДНОЙ И КТЕНОИДНОЙ ЧЕШУИ У РЫБ

В. Д. БУРДАК

Институт биологии южных морей Академии наук Украинской ССР (Севастополь)

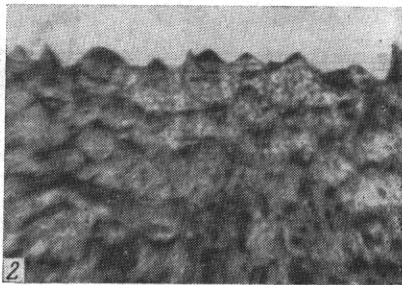
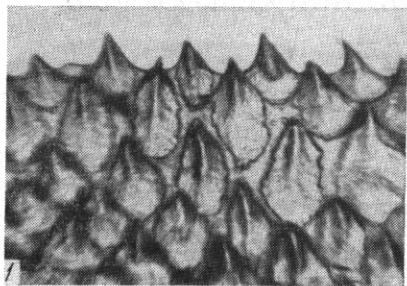
Показано регрессивное развитие ктеноидного аппарата в онтогенезе у кефали (*Mugil cephalus* L.) при значениях числа Рейнольдса $Re > 5,0 \cdot 10^6$, связанное с уменьшением и ликвидацией функции ламинаризатора, которую выполняет ктеноидный аппарат. На основании анализа гидродинамической функции циклоидной и ктеноидной чешуи эти типы чешуи расцениваются как последовательно сменяющие друг друга стадии одного и того же приспособления, направленного на уменьшение гидродинамического сопротивления.

Одна из существеннейших сторон приспособления рыб к снижению гидродинамического сопротивления — развитие специфической функции их кожных покровов, которая обеспечивает управление пограничным слоем (Walters, 1962; Алеев, 1963; Кудряшов и Барсуков, 1967, 1967а; Бурдак, 1968, 1969, 1969а). Среди адаптаций этого типа можно, в частности, отметить ктеноидный аппарат рыб, гидродинамическая функция которого в последнее время была исследована нами (Бурдак, 1968, 1969, 1969а) более подробно. Результаты этих исследований показывают, что ктеноидный аппарат является эффективным средством управления пограничным слоем и в определенном диапазоне чисел Рейнольдса действует как ламинаризатор, уменьшающий степень турбулентности пограничного слоя.

Однако теоретические предпосылки позволяли ожидать, что с увеличением чисел Рейнольдса до определенного предела ктеноидный аппарат должен терять свое гидродинамическое значение (Бурдак, 1968). Дальнейшие исследования позволили установить, что при значениях числа Рейнольдса около $3,5 \cdot 10^6$ в онтогенезе у крупных кефалей, в частности у лобана (*Mugil cephalus* L.), ктеноидный аппарат действительно начинает развиваться регрессивно. А при длине рыб около 70 см, что соответствует значению числа Рейнольдса около $5,0 \cdot 10^6$, у лобана это регрессивное развитие завершается деструкцией ктеноидов. В этом проявляется относительность приспособления, его привязанность к конкретным режимам течения в пограничном слое, определяемым в данном случае величинами чисел Рейнольдса.

Сам процесс деструкции ктеноидов идет в двух направлениях. Во-первых, происходит постепенное отпадение ктеноидов на всем свободном поле чешуи, что приводит к изреживанию спрямляющей решетки и деградациии ее функциональных способностей. Во-вторых, изменяется характер закладки новых ктеноидов на вновь образующихся пластинках чешуи. В период прогрессивного развития ктеноидного аппарата ктеноиды закладываются на кромке чешуи в строго определенном положении друг к другу, имеют более или менее одинаковую форму и размеры и располагаются на свободном поле чешуи в правильном шахматном

порядке, что отвечает выполнению ими гидродинамической функции (см. рисунок, 1). В период деструкции ктеноидного аппарата расположение вновь возникающих ктеноидов становится все более беспорядочным, а их форма и размеры — все более разнообразными. Наряду с правильными ктеноидами, все чаще появляются деформированные, искривленные, без гребней, с закругленными вершинами и т. д. (см. рисунок, 2). Позднее начинают возникать отдельные, уже циклоидные участки кромки, ктеноиды становятся все более редкими и, наконец, на очередной пластинке чешуи вообще не появляются ктеноиды — чешуя по сути становится циклоидной. На кромке чешуи остается только слабая волнистость, ни в какой мере не напоминающая о ктеноидах (см. рисунок, 3).



Mugil cephalus L.

1 — функционирующий ктеноидный аппарат на чешуе; абсолютная длина рыбы 57,0 см; 2 — начальная стадия деструкции ктеноидного аппарата на чешуе; абсолютная длина рыбы 58,5 см; 3 — конечная стадия деструкции ктеноидного аппарата на чешуе; абсолютная длина рыбы 70,0 см.

Таким образом, в онтогенезе можно различать ряд отчетливо выраженных стадий развития кожных покровов: 1) бесчешуйная, 2) первичная циклоидная, 3) ктеноидная, 4) вторичная циклоидная.

У кефалей первая (бесчешуйная) стадия начинается с момента вылупления из икринки и заканчивается при длине около 1 см и значении числа Рейнольдса $2,0 \cdot 10^3$. Эта стадия отвечает состоянию планктонной личинки и самого раннего малька.

Вторая (первичная циклоидная) стадия продолжается до того момента, когда поверхность тела, покрытая ктеноидной чешуей, по площади начинает превосходить поверхность, покрытую циклоидной чешуей, что у кефалей бывает при длине около 5,0 см и значении числа Рейнольдса около 10^5 . С функциональной стороны эта стадия соответствует плаванью в заведомо докритических режимах, когда еще не возникает угроза турбулизации пограничного слоя.

Третья (ктеноидная) стадия продолжается до тех пор, пока большая часть поверхности тела остается покрытой ктеноидной чешуей. Это длится примерно до достижения рыбой абсолютной длины около 70 см, что соответствует значению числа Рейнольдса около $5,0 \cdot 10^6$. Функционально эта стадия охватывает тот диапазон чисел Рейнольдса, где возможно эффективное уменьшение турбулентности с помощью ктеноидного аппарата, т. е. где адаптация еще идет по линии уменьшения степени турбулентности пограничного слоя.

Четвертая (вторичная циклоидная) стадия начинается с того момента, когда большая часть поверхности тела вновь оказывается покрытой циклоидной чешуей и продолжается до конца онтогенеза. В функцио-

нальном отношении она соответствует такому положению, когда эффективное уменьшение степени турбулентности с помощью ктеноидного аппарата становится уже невозможным. В этих условиях действуют другие приспособления, направленные на снижение сопротивления.

Наш анализ гидродинамической функции ктеноидной чешуи (Бурдак, 1968, 1969, 1969а), наряду с изложенным, позволяет прийти к некоторым общим заключениям относительно соотношения гидродинамических функций циклоидной и ктеноидной чешуи у рыб. Судя по всему, циклоидная и ктеноидная чешуя представляет собой две стадии развития одного и того же приспособления, которые как в филогенезе, так и в онтогенезе сменяют друг друга в соответствии с изменениями режима движения, характеризуемыми, в свою очередь, изменениями чисел Рейнольдса. В связи с этим циклоидную и ктеноидную чешую следует считать не отдельными типами, наряду с плакоидным, космоидным и ганоидным, а подтипами эласмоидного типа, как это принимает Бертин (L. Bertin, 1944, 1958), хотя он устанавливает эласмоидный тип чешуи на основании чисто морфологических моментов. Принятая им классификация, как показывают проведенные нами исследования, полностью отвечает и функциональным особенностям циклоидной и ктеноидной чешуи. Следует всячески внедрять непривившееся у нас название эласмоидной чешуи.

Соответственно можно различать четыре основных типа чешуи: плакоидную, космоидную, ганоидную и эласмоидную. Эта классификация в наибольшей мере отвечает морфологической и функциональной специфике чешуи различных типов.

ЛИТЕРАТУРА

- Алеев Ю. Г., 1963. Функциональные основы внешнего строения рыбы: 1—247, Изд-во АН СССР, М.
- Бурдак В. Д., 1968. О функциональном значении ктеноидов на чешуе рыб, Зоол. ж., 47, 5: 732—738.—1969. Онтогенетическое развитие чешуйного покрова кефали *Mugil saliens* Risso, Зоол. ж., 48, 2: 242—248.—1969а. О функционировании ктеноидного аппарата рыб в условиях турбулентного пограничного слоя, Зоол. ж., 48, 7: 1055—1057.
- Кудряшов А. В. и Барсуков В. В., 1967. О гидродинамической роли чешуйного покрова рыб как аналога поверхностей, непосредственно сформированных вихревым потоком. Сообщение 1. Сходство неровностей чешуйного покрова с неровностями на поверхностях, сформированных потоком в руслах рек, Зоол. ж., 46, 3: 393—403.—1967а. О гидродинамической роли чешуйного покрова рыб как аналога поверхностей, непосредственно сформированных вихревым потоком. Сообщение 2. Гидродинамическая функция чешуйного покрова, Зоол. ж., 46, 4: 556—566.
- Bertin L., 1944. Modifications proposées dans la nomenclature des écailles et des naegeoires, Bull. Zool. France, 69: 198—202.—1958. Ecailes et sclérifications dermiques. In: Grassé P.-P., Traite de Zool., 13, 1: 482—504.
- Walters V., 1962. Body form and swimming performance on the scombroid fishes, Amer. Zoologist, 2: 143—149.

CORRELATION OF HYDRODYNAMIC FUNCTIONS OF CYCLOID AND CTENOID SCALES IN FISH

V. D. BURDAK

*Institute of Biology of South Seas, Academy of Sciences
of the Ukrainian SSR (Sebastopol)*

Summary

The regressive development of ctenoid apparatus has been shown in ontogenesis of *Mugil cephalus* L. at the values of Reynolds' number $Re > 5.0 \cdot 10^6$. This is related to decrease and elimination of the function of laminarisation performed by the ctenoid apparatus. On the basis of the analysis of hydrodynamic functions of cycloid and ctenoid scales, these types of scale are regarded as successive stages of the same adaptation aimed at a decrease of hydrodynamic resistance.