

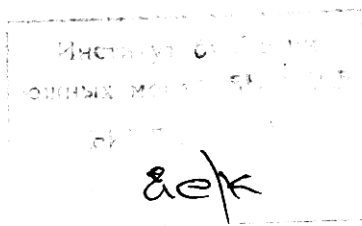
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

Экология моря

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1980 г.

Выпуск 6



ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ОБТЕКАНИЯ НЕКОТОРЫХ МОРСКИХ И ПРОХОДНЫХ РЫБ

Изучение особенностей адаптации к движению в водной среде у рыб различных экологических групп представляет интерес в теоретическом и прикладном аспектах.

Целью исследования было комплексное изучение в сравнительном плане общего гидродинамического сопротивления и особенностей обтекания у трех видов рыб, различных по экологии и морфологии: севрюги — *Acipenser stellatus* Pallas, кефали — *Mugil auratus* Risso и ставриды — *Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev. У севрюги — представителя проходных рыб, удлиненное, веретенообразное тело с пятью рядами костных жучек. Между жучками тело покрыто звездчатыми пластинками и мелкими гребенчатыми зернышками, придающими телу значительную шероховатость. Севрюга ведет преимущественно придонный образ жизни. Кефаль — морская, сравнительно быстрая придонно-пелагическая рыба с прогонистым телом, покрытым довольно крупной чешуей. Ставрида — типичная пелагическая скоростная рыба, имеющая обтекаемую форму тела и мелкую циклоидную чешую. Различия во внешней организации этих рыб позволяют предположить, что и гидродинамические качества их различны.

Работы с этими объектами проводились в 1972—1974 гг. на базе экспериментального биогиродинамического комплекса Института биологии южных морей АН УССР. Комплекс включает в себя три биогиродинамических канала, из которых один стационарный [4] сечением $0,85 \times 1,00$ м и длиной 21,00 м, и два малых разборных канала [8, 10], один сечением $0,50 \times 0,60$ м и длиной 6,00 м и другой сечением $0,40 \times 0,40$ м и длиной 4,00 м.

Измерения общего гидродинамического сопротивления проводились на живых рыбах с использованием автоматической следящей системы «Скопа» [4, 5]. В инерционные моменты движения с помощью датчиков системы измерялась и осциллографировалась скорость рыб с одновременной киносъемкой их движения на негативную киноплёнку 35 мм киносъемочной камерой «Конвас-автомат». Для каждого участка инерционного движения, зафиксированного на киноплёнке, находили амплитудные значения скорости на осциллограммах. Зная величины скорости в начале и конце инерционного участка движения и время, за которое происходило изменение скорости, вычислялись ускорения. С целью сопоставления и оценки величины общего гидродинамического сопротивления для каждого вида рыб определялись коэффициенты C_x во всех диапазонах скоростей. Расчеты велись по формуле

$$C_x = \frac{2(m + \lambda) \cdot a}{\rho \cdot v^2 \cdot S},$$

где m — масса рыбы (кг), λ — присоединенная масса воды (кг), определяемая по номограммам [7]; a — ускорение ($\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$); ρ — плотность воды ($\text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$); v — скорость ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$) и S — площадь смоченной поверхности тела рыбы (м^2).

Для наглядности построены графические зависимости $C_x = f(Re)$.

Визуализация картины обтекания производилась с помощью красителя синего цвета по ранее описанной методике [3], позволившей наблюдать естественные процессы, происходящие в обтекающем тело

рыбы потоке и гидродинамическом следе. Учитывая то обстоятельство, что даже незначительные детали в структуре внешних покровов рыбы могут существенным образом влиять на характер обтекающего потока [1, 6], для экспериментов отбирались только здоровые экземпляры с абсолютно целым чешуйным покровом. Пересадка рыбы из садков в канал и нанесение краски выполнялись с максимальной осторожно-

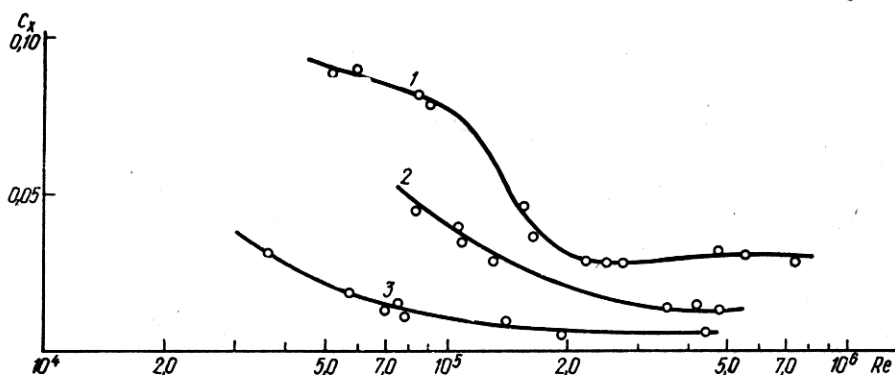


Рис. 1. Зависимость $C_x = f(Re)$ для севрюги (1), кефали (2) и ставриды (3).

стью. Опыты с севрюгой проводились на шести экземплярах абсолютной длиной (L_a) от 32,4 см до 120,0 см; с кефалью на пяти экземплярах длиной от 8,7 см до 33,0 см, со ставридой на двенадцати экземплярах длиной от 10,5 см до 22,3 см. Полученные экспериментальные зависимости коэффициентов полного гидродинамического сопротивления от чисел Рейнольдса (Re) и картина обтекания характеризуют гидродинамические качества исследованных рыб (рис. 1).

Как видно из рис. 1, наибольшая величина гидродинамического сопротивления обнаружена у севрюги (при $Re = 3,0 \cdot 10^5$, $C_x = 0,032$). Визуально наблюдаемая картина обтекания севрюги (рис. 2, А) показывает, что при $Re < 10^5$ ламинарным потоком обтекается практически только голова рыбы, а сразу же за жаберными щелями начинается турбулизация обтекающего потока. Сравнительно высокий показатель общего гидродинамического сопротивления, наличие высокой турбулизации, по-видимому, связаны с особенностями внешней организации севрюги, прежде всего с наличием на теле рыбы жучек и значительной общей шероховатости кожных покровов.

Несколько ниже общее гидродинамическое сопротивление у кефали (при $Re = 3,0 \cdot 10^5$, $C_x = 0,012$). Как видно из рис. 2, Б, обтекающий тело кефали поток более упорядочен, чем у севрюги. Он смешанный, состоит из ламинарного участка (37,0% L_a) и турбулентного без вихрей отрыва. Гидродинамический след при инерционном плавании прямой, без вихревых образований.

Наиболее низкое сопротивление из рассмотренных нами рыб у ставриды (при $Re = 3,0 \cdot 10^5$, $C_x = 0,006$). Зона перехода ламинарного участка обтекающего потока в турбулентный располагается на середине тела (рис. 2, В). Случаев отрыва потока у тела рыбы и вихревых образований в гидродинамическом следе на инерционных режимах плавания в экспериментах не наблюдалось.

Наши экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами модельных испытаний [2]. Величины коэффициентов сопротивления формы (C_{xf}), полученные для автомодельных областей, у ставриды составили 0,003, у кефали — 0,004. На моделях севрюги такие испытания не были проведены, но приводится величина коэффициента сопротивления формы для другого представителя осетровых — *Acipenser guldenstadti* Colchisus V. Marti, равная 0,007 [2].

При обтекании тел с криволинейной поверхностью выделяют два участка: конфузорный — передний, до местоположения наибольшего поперечного сечения, в котором скорость потока нарастает, а давление уменьшается, и диффузорный — за наибольшим сечением, в котором скорость потока уменьшается, а давление увеличивается. На диффузорном участке в месте, где скорость течения на дне пограничного слоя

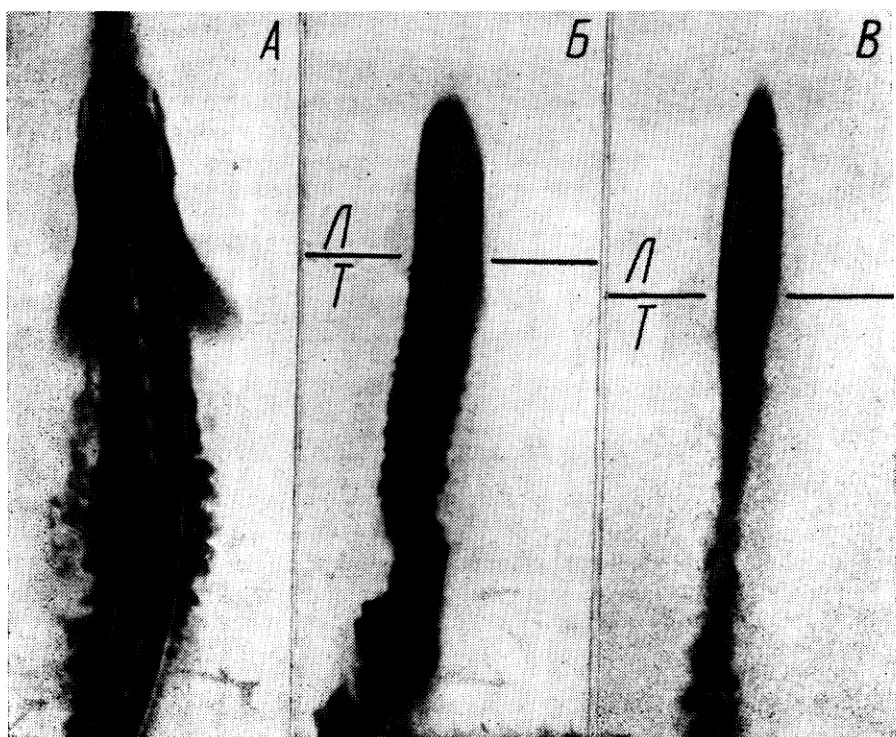


Рис. 2. Визуализированная картина обтекания тела севрюги (А), кефали (Б) и ставриды (В).

L/T — распределение ламинарных и турбулентных участков обтекающего потока.

будет равна нулю, происходит отрыв пограничного слоя. Чем меньше диффузорный участок, тем, следовательно, меньше вероятность отрыва пограничного слоя и соответственно меньше сопротивление [9].

Соотношение конфузорного и диффузорного участков тела рыбы учитывается показателем формы корпуса Y [1], который вычисляется по формуле

$$Y = \frac{y}{L},$$

где y — расстояние от переднего конца тела рыбы до наибольшей высоты; L — длина рыбы до конца позвоночного столба. Увеличение показателя Y свидетельствует об улучшении гидродинамического качества рыбы.

Полученные экспериментальные данные показывают, что ставрида обладает лучшими гидродинамическими качествами, чем кефаль. Это подтверждается величинами показателя формы корпуса, которые составляют для ставриды 0,45 и для кефали 0,40 [1], и может быть объяснено особенностями их экологии.

У севрюги $Y=0,49$ [1], т. е. выше, чем у кефали и ставриды. Однако, как видно из наших данных, гидродинамическое сопротивление и обтекание у нее значительно хуже, чем у двух предыдущих ви-

дов. Это связано с отмеченными выше внешнеморфологическими особенностями (наличие жучек и значительная общая шероховатость кожных покровов), которые оказывают на гидродинамику севрюги большее влияние, чем соотношение конфузорного и диффузорного участков тела.

1. *Алеев Ю. Г.* Функциональные основы внешнего строения рыбы. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 247 с.
2. *Алеев Ю. Г.* Гидродинамические качества формы тела нектеров. — Зоол. журн., 1972, 51, № 7, с. 942—952.
3. *Алеев Ю. Г., Овчаров О. П.* О развитии процессов вихреобразования и характере пограничного слоя при движении рыб. — Зоол. журн., 1969, 48, № 6, с. 781—790.
4. *Алеев Ю. Г., Курбатов Б. В.* Гидродинамический канал Института биологии южных морей. — Гидробиол. журн., 1972, 8, № 1, с. 111—113.
5. *Алеев Ю. Г., Курбатов Ю. В.* Гидродинамическое сопротивление живых рыб и некоторых других нектеров на участке инерционного движения. — Вопр. ихтиологии, 1974, 14, № 1, с. 173—176.
6. *Бурдак В. Д.* О функциональном значении ктеноидов на чешуе рыб. — Зоол. журн., 1968, 47, № 5, с. 732—738.
7. *Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В.* Теоретическая гидродинамика. — М.: Физматгиз, 1963, с. 570.
8. *Курбатов Б. В.* Экспедиционный биогиродинамический канал. — Гидробиол. журн., 1975, 11, № 2, с. 128—130.
9. *Мартынов А. К.* Экспериментальная аэродинамика. — М.: Оборонгиз, 1958. — 348 с.
10. *Овчаров О. П.* Вихреобразование в гидродинамическом следе рыбы при движении. — Зоол. журн., 1971, 50, № 11, с. 1755—1758.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
03.05.79

B. V. KURBATOV, O. P. OVCHAROV

HYDRODYNAMICAL RESISTANCE AND PECULIARITIES OF FLOW AROUND SOME SEA AND MIGRATORY FISH

Summary

The paper deals with results of an instrumental study of the picture of flow around and hydrodynamical resistance in Caspia sturgeon, golden mullet and Black Sea horse mackerel.

Hydrodynamical peculiarities of the studied fishes are analyzed. It is shown by experiment that horse mackerel is the best swimmer. Caspia sturgeon and golden mullet possess the worse hydrodynamical qualities.