

Ю. Г. АЛЕЕВ

ПОВОРОТЛИВОСТЬ РЫБ

Движение по траектории любого вида может быть понимаемо состоящим из двух простых элементов: 1) прямолинейного движения и 2) изменения направления движения.

Для характеристики способности рыб к прямолинейному (и вообще к поступательному) движению В. В. Шулейкиным (1953) был предложен характеристический коэффициент сопротивления N :

$$N = \frac{f_0}{abv_0^2}, \quad (1)$$

где f_0 — сила лобового сопротивления, a — высота тела рыбы, b — его ширина, v_0 — скорость движения. Уменьшение коэффициента N соответствует улучшению гидродинамических качеств рыбы и наоборот.

Способность рыб к изменению направления движения (поворотливость рыб) до последнего времени не была предметом специального изучения. В 1953 году нами были начаты исследования поворотливости рыб, в результате которых были найдены первые цифровые показатели для ее выражения (Алеев, 1956, 1957 а, 1957 б, 1958). Дальнейшие исследования позволили улучшить метод получения цифровых показателей и дать характеристику поворотливости рыб как применительно к случаю поворота в горизонтальной плоскости, так и к случаю поворота в вертикальной плоскости. Эти исследования показали, какое большое значение имеет указанный метод цифровых показателей при изучении онтогенетического развития рыб и вопросов их филогении.

Для характеристики поворотливости рыб нами получены показатели, основывающиеся на учете величины вращающих моментов, обусловленных силами, действующими на рыбу при изменении направления движения. При изменении направления движения на рыбу, кроме сил, действующих на нее во время прямолинейного движения, действуют еще две силы: центробежная сила (рис. 1, R), приложенная в центре тяжести (рис. 1, c) и направленная перпендикулярно к направлению движения, в сторону, противоположную той, в которую производится поворот, и сила реакции воды (рис. 1, F), возникающая при боковом сносе тела рыбы под действием центробежной силы и по своему направлению антипараллельная ей, т. е. направленная в сторону поворота.*). С достаточным приближением можно принять, что сила F приложена в центре продольной

*) Мы принимаем, что рыба движется лишь под действием сил инерции, не совершая плавательных движений телом. Это допущение, не меняя условий задачи, избавит нас от необходимости рассматривать паразитные поперечные силы, возникающие при выполнении рыбой плавательных движений (Шулейкин, 1953).

вертикальной (при повороте в горизонтальной плоскости) или горизонтальной (при повороте в вертикальной плоскости) проекции рыбы, или, как мы условимся называть эту точку, — в центр реакции (рис. 1, o).

В подавляющем большинстве случаев точки c и o лежат не на одной вертикали, благодаря чему силы R и F образуют пару с вращающим моментом, плечо которого (рис. 1, l) представляет собою расстояние между вертикалями центра тяжести (c) и центра реакции (o). В зависимости от взаиморасположения точек c и o эта пара может быть как вредной (если o лежит сзади c), так и полезной (если o лежит спереди c), т. е. она может либо затруднять поворот, стремясь отклонить передний конец тела рыбы в сторону, противоположную той, в которую производится поворот (показано стрелками на рис. 1), либо облегчать его,

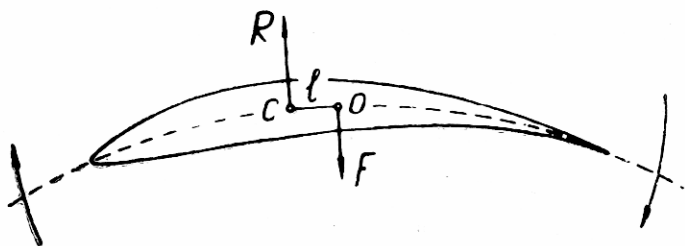


Рис. 1. Силы, действующие на рыбу в момент поворота. Пунктиром изображена траектория, прочие пояснения в тексте.

стремясь отклонить передний конец тела рыбы в сторону поворота. Это справедливо для поворотов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Поскольку при выполнении рыбой поворотов всегда наблюдается боковой снос ее под действием центростремительной силы, очевидно, что сила F по модулю всегда меньше силы R и потому момент M данной пары сил равен произведению силы F на плечо l :

$$M = \pm Fl \quad (2)$$

Знаки $\pm$ в выражении (2), как и в выражениях (5) и (6), обозначают, что вращающий момент может оказывать положительное или отрицательное действие.

Величина силы F пропорциональна площади соответствующей (вертикальной или горизонтальной) продольной проекции рыбы. Для нахождения площади проекции, вычертим после измерения необходимых расстояний на рыбе проекцию рыбы в определенном масштабе на куске картона, изобразив все плавники в такой степени расправленными, как это им свойственно при выполнении рыбой крутых поворотов в горизонтальной (при изображении вертикальной проекции) или вертикальной (при изображении горизонтальной проекции) плоскостях (рис. 2, 3) (за движением исследуемых рыб мы наблюдали в аквариуме). Далее, вырежем проекцию и у полученной фигуры найдем центр тяжести, который является центром проекции; эту точку и примем за центр реакции.

Площадь вертикальной продольной проекции обозначим через S , горизонтальной — через s . Затем определим величины S и s (в см^2) и найдем длины сторон равновеликих полученным площадям квадратов, которые будут соответственно равны $\sqrt{S}$ и $\sqrt{s}$. Разделив эти величины

на длину рыбы до конца позвоночного столба (L), будем иметь относительные выражения для величины площадей проекций: для вертикальной продольной проекции —

$$\frac{\sqrt{S}}{L} = \sqrt{S} L^{-1} \quad (3)$$

и для горизонтальной —

$$\frac{\sqrt{s}}{L} = \sqrt{s} L^{-1}. \quad (4)$$

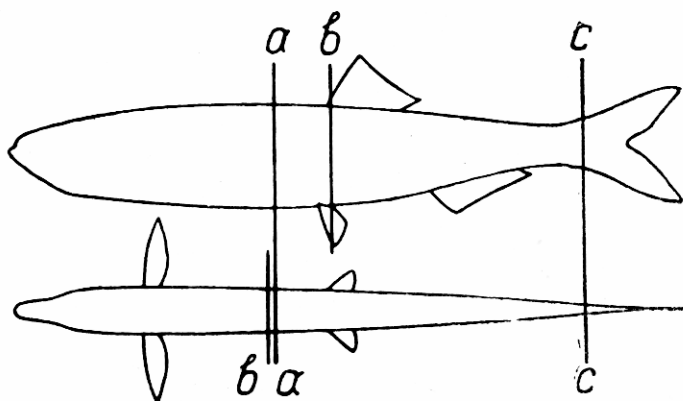


Рис. 2. *Spartus sprattus phalericus*. Вертикальная и горизонтальная продольные проекции. Проведены нормали к продольной оси рыбы, проходящие через центр тяжести (а), центр реакции (b) и конец позвоночного столба (с).

Центр тяжести (центр инерции) рыбы определялся в воздухе*) путем прокалывания рыбы стальной спицей.

Плечо вращающего момента для случая поворота в горизонтальной плоскости обозначим через l , для случая поворота в вертикальной плоскости — через h . Величины l и h , будучи поделены на длину рыбы до конца позвоночного столба (L), сами по себе могут служить показателями поворотливости. Формула показателя поворотливости для случая поворота в горизонтальной плоскости будет такова:

$$K = \pm \frac{l}{L} = \pm lL^{-1} \quad (5)$$

Для случая поворота в вертикальной плоскости эта форма будет иметь следующий вид:

$$K = \pm \frac{h}{L} = \pm hL^{-1} \quad (6)$$

*) В воде центр тяжести рыбы определить нельзя, так как в воде мы имеем дело не с силой тяжести, а с равнодействующей силы тяжести и гидростатической силы давления воды и точка приложения этой равнодействующей не совпадает с центром тяжести.

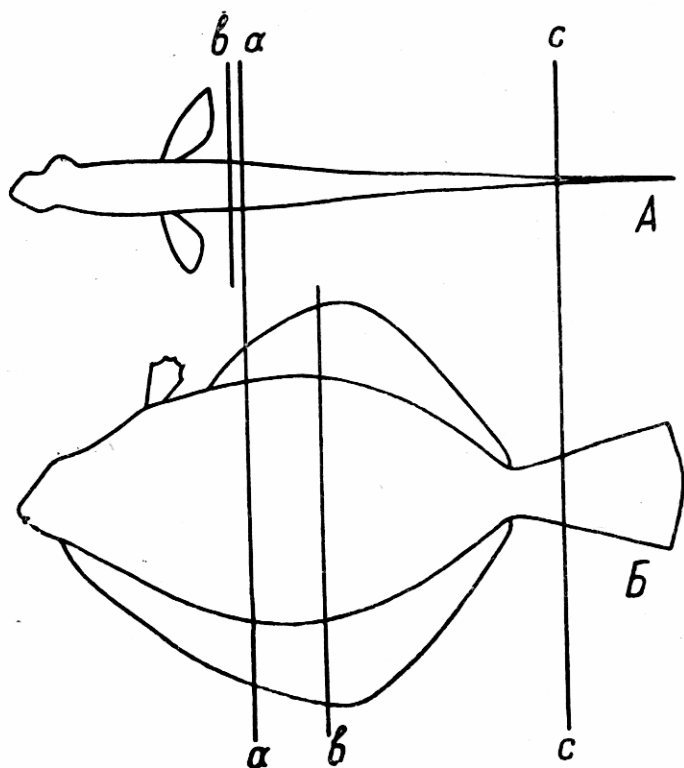


Рис. 3. *Pleuronectes flesus luscus*. Вертикальная (А) и горизонтальная (Б) продольные проекции. Проведены нормали к продольной оси рыбы, проходящие через центр тяжести (а), центр реакции (в) и конец позвоночного столба (с).

Алгебраическое увеличение показателей K и k соответствует увеличению поворотливости рыбы и наоборот.*)

Помножив (3) на правую часть равенства (5), найдем полную характеристику поворотливости Z для случая поворота в горизонтальной плоскости:

$$Z = \mp \frac{1}{L^2} \sqrt{s} = \pm 1 \sqrt{s} L^{-2} \quad (7)$$

Перемножая (4) и правую часть равенства (6), найдем полную характеристику поворотливости z для случая поворота в вертикальной плоскости:

$$z = \pm \frac{h}{L^2} \sqrt{s} = \pm h \sqrt{s} L^{-2} \quad (8)$$

*) Алгебраическое увеличение показателя поворотливости (K и k) при его отрицательном значении означает уменьшение его модуля. В работе, в которой нами впервые предложен показатель горизонтальной поворотливости K (Алеев, 1957 б), этот показатель всюду имеет отрицательные значения и употребляется без знака «—»; изменения же его оцениваются именно как изменения его модуля (уменьшение модуля в этом случае соответствует увеличению поворотливости). Это следует иметь в виду во избежание путаницы.

Алгебраическое увеличение характеристик $\bar{Z}$ и z соответствует увеличению поворотливости рыбы и наоборот. «Полными» эти характеристики являются в том смысле, что они учитывают оба сомножителя в выражении (2) вращающего момента, в отличие от показателей поворотливости K и k , учитывающих только величину плеча момента.

Очевидно, что применение предлагаемой методики ограничено рыбами, имеющими более или менее обычную, «рыбообразную» форму тела, у которых латеральная сгибаемость тела сравнительно невелика, так что тело их в момент поворота в горизонтальной (и тем более в вертикальной) плоскости может быть приравнено в первом приближении к жесткой балке. В случае рыб очень гибких, таких, как угри, нахождение характеристик Z и z , видимо, не имеет смысла.

Несколько слов необходимо сказать о самом термине «поворотливость». Под поворотливостью мы понимаем относительную способность рыбы к изменению направления движения. Априори ясно, что маленькая рыба может, при прочих равных условиях, двигаться по более крутой дуге, чем большая. Однако выяснение поворотливости рыб на этой основе исключает сравнение одноразмерных особей и ничего не может дать для функционального анализа внешней морфологической организации рыбы, в то время как такой анализ представляет собою цель исследования. Имея это в виду, целесообразно было найти способ выявления и количественного учета того влияния, которое оказывает приспособление к изменению направления движения на внешнюю организацию рыбы. Это и оказалось возможным при учете относительной величины вредной пары FR и выражении ее в виде характеристик Z и z . Используя эти характеристики, мы получили возможность сравнивать самых различных рыб в отношении того, насколько их внешнее строение приспособлено к выполнению поворотов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Характеристики Z и z показывают, следовательно, насколько данная рыба выполняет повороты. Выявление механизма действия пары FR позволило понять целый ряд закономерностей внешнего строения рыб, в частности некоторые общие закономерности, определяющие строение корпуса и плавников рыбы.

Значения показателей Z и z были вычислены для 38 видов рыб, которые относятся к 32 семействам (табл. 1—2).

В таблице 1 формы рыб расположены в порядке уменьшения значений полной характеристики горизонтальной поворотливости Z ; все исследованные экземпляры — половозрелые.

Из табл. 1 видно, что наиболее высокие значения Z и, следовательно, наибольшую горизонтальную поворотливость имеют камбалы, что связано со специфической формой их тела, которая сама по себе является приспособлением к увеличению вертикальной поворотливости (Алеев, 1956). В то же время, превращение тела в горизонтально расположенный лист уменьшает его вертикальную продольную проекцию и, тем самым, увеличивает горизонтальную поворотливость, благодаря чему у камбал значения Z высоки.

У *Lophius* — типичного придонного хищника подстерегающего типа в целях маскировки рыбы, сидящей на грунте, тело сплюснуто дорзовентрально. В связи с резким уменьшением продольной вертикальной проекции тела у *Lophius*, как и у камбал, значение Z сравнительно высоко (табл. 1). Хорошая горизонтальная поворотливость в данном случае, как и в случае камбал, скорее всего не является прямым результатом

приспособления к движению — *Lophius* ведет малоподвижный образ жизни, — а представляет собою, вероятно, некоторый вторичный эффект, обусловленный значительным уменьшением относительной величины продольной вертикальной проекции тела.

Таблица 1.

Полная характеристика горизонтальной (Z) и вертикальной (z) поворотливости и коэффициент сопротивления (N) для различных рыб¹⁾

Виды и формы рыб	По нашим данным			По Шулейкину (1953) ²⁾	
	L, в см	Z	z	L, в см	N
<i>Pleuronectes flesus luscus</i> Pallas	25.5	+0.007	-0.100	—	—
<i>Solea nasuta</i> Pallas	14.1	-0.009	-0.071	20.5	0.643
<i>Rhombus maeoticus</i> Pallas	23.3	-0.014	-0.162	—	—
<i>Auxis thazard</i> (Lacépède)	38.9	-0.019	-0.001	—	—
<i>Scomber scombrus</i> Linné	21.8	-0.020	-0.003	—	—
<i>Sarda sarda</i> (Bloch)	45.1	-0.023	-0.003	65.0	0.160
<i>Acipenser stellatus</i> Pallas	98.5	0.024	0.000	—	—
<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> Aleev	43.3	-0.28	-0.007	12.5	0.220
<i>Sardina pilchardus sardina</i> (Risso)	12.7	-0.034	+0.003	—	—
<i>Germo alalunga</i> (Bonnaterre)	68.0	-0.037	-0.003	—	—
<i>Squalus acanthias</i> Linné	116.0	-0.038	+0.003	—	—
<i>Pomatomus saltatrix</i> Linné	50.2	-0.039	-0.010	—	—
<i>Glyphis glaucus</i> (Linné)	180.0	-0.040	0.000	—	—
<i>Clupea harengus harengus</i> Linné	25.5	-0.040	-0.003	—	—
<i>Sprattus sprattus phalericus</i> (Risso)	10.0	-0.040	+0.005	—	—
<i>Alosa kessleri pontica</i> (Eichwald)	25.0	-0.041	+0.003	—	—
<i>Engraulis encrasicolus maeoticus</i> Pusanov	10.8	-0.042	+0.003	—	—
<i>Scyliorhinus canicula</i> (Linné)	43.1	-0.043	-0.003	—	—
<i>Mustelus mustelus</i> (Linné)	121.0	-0.046	-0.003	—	—
<i>Coryphaena hippurus</i> Linné	30.3	-0.049	-0.006	—	—
<i>Alosa fallax nilotica</i> (Geoffroy)	26.4	-0.059	-0.007	—	—
<i>Odontogadus merlangus euxinus</i> (Nordmann)	41.6	-0.053	+0.004	—	—
<i>Mugil auratus</i> Risso	34.2	-0.055	+0.010	—	—
<i>Atherina mochon pontica</i> Eichwald	8.1	-0.056	-0.010	—	—

Продолжение таблицы 1.

Виды и формы рыб	По нашим данным			По Шулейкину (1953) ²⁾	
	L, в см	Z	z	L, в см	N
<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipow	17.5	-0.056	0.000	14.0	0.288
<i>Puntazzo puntazzo</i> (Cetti)	31.0	-0.057	+0.004	—	—
<i>Spicara smaris</i> (Linné)	15.1	-0.058	0.000	10.5	0.266
<i>Clupeonella delicatula delicatula</i> (Nordmann)	6.6	-0.058	-0.006	—	—
<i>Salmo trutta labrax</i> m. fario Linné	22.0	-0.059	+0.003	—	—
<i>Lophius piscatorius</i> Linné	53.8	-0.060	-0.006	—	—
<i>Zeus faber</i> Linné	22.2	-0.074	+0.011	—	—
<i>Corvina umbra</i> (Linné)	27.1	-0.076	+0.004	—	—
<i>Scorpaena porcus</i> Linné	22.0	-0.081	+0.025	21.0	0.254
<i>Trachinus draco</i> Linné	16.6	-0.083	-0.011	—	—
<i>Labrus prasostictes</i> Pallas	26.8	-0.084	+0.012	—	—
<i>Trigla lucerna</i> Linné	49.2	-0.084	-0.005	38.0	0.256
<i>Uranoscopus scaber</i> Linné	15.8	-0.095	-0.005	—	—
<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas)	12.8	-0.103	+0.013	16.5	0.260

¹⁾ Приводимые здесь и в табл. 2 величины Z и z являются более точными, чем опубликованные ранее (Алеев, 1958), т. к. получены в результате использования более совершенной методики нахождения значений S и s .

²⁾ Данные относящиеся к неполовозрелым экземплярам не включены.

Если рассматривать всех остальных рыб, исключая камбал и *Lophius*, то обнаруживается следующая картина. Наибольшую горизонтальную поворотливость имеют быстро двигающиеся пелагические рыбы, которые могут быть названы в числе лучших пловцов: тунцы, скумбрия, пелагида, ставрида, луфарь, акулы, большинство сельдевых, анчоус и *Coryphaena*. Интересно отметить, что самые высокие значения Z из числа представителей этой группы имеют *Auxis* и *Scomber*, у которых первый спинной плавник короток и вынесен далеко вперед, что в наибольшей мере способствует перенесению центра реакции вперед, т. е. в сторону центра тяжести. Несколько ниже значения Z у родственных и близких по форме тела рыб, обладающих длинным первым спинным плавником, у таких, как *Sarda*, *Trachurus*, *Germo* и *Pomatomus*.

Хорошую поворотливость имеет также себрюга, в чем отражается, безусловно, приспособление к проходному образу жизни, который предполагает длительное движение против течения.

Сравнительно высоки значения Z у мелких пелагических рыб — атерины, тюльки, форели, а также у некоторых придонно-пелагических форм, ведущих более или менее подвижный образ жизни, к числу которых относятся *Odontogadus*, *Mugil*, *Puntazzo* и *Spicara*. Особняком среди представителей этой группы стоит барабуля, которая во взрослом со-

стоянии является рыбой придонной. Барабуля, однако, имеет длительную пелагическую стадию. Как видно из табл. 2, значения Z у пелагического малька и у взрослой барабули одинаковы, что указывает на то, что увеличения горизонтальной поворотливости на протяжении придонного периода жизни не происходит. Кроме того, как мы уже указывали (Алеев, 1957 б), взрослая барабуля, ведущая придонный образ жизни, питается в основном подвижными формами бентоса (полевхеты, креветки), ловля которых требует от рыбы достаточной поворотливости, что, несомненно, ведет к улучшению характеристики Z .

Значительно хуже горизонтальная поворотливость у придонно-пелагических и придонных рыб, которые по характеру питания являются растительноядными, моллюскоядными или хищниками подстерегающего типа. Таковы из исследованных рыб *Zeus*, *Corvina*, *Scorpaena*, *Trachinus*, *Labrus*, *Trigla*, *Uranoscopus* и *Neogobius*. Хищников преследующего типа среди представителей перечисленных родов нет; большинство из них большую часть времени проводит, сидя на дне (*Scorpaena*, *Trachinus*, *Trigla*, *Uranoscopus*, *Neogobius*). Наиболее низкие значения Z и, соответственно, наименьшую горизонтальную поворотливость мы видим у двух последних членов ряда — *Uranoscopus* и *Neogobius*, ведущих весьма малоподвижный образ жизни.

В целом, как видно из табл. 1, пелагические рыбы имеют поворотливость более высокую, чем придонно-пелагические, придонно-пелагические — более высокую, чем придонные (не считая камбал и *Lophius*, о которых сказано особо).

Вертикальная поворотливость на протяжении полученных рядов форм (табл. 1) изменяется слабее, чем горизонтальная; значения z у большинства форм близки. Можно отметить лишь некоторое увеличение z у ряда придонно-пелагических и придонных форм: *Mugil*, *Zeus*, *Scorpaena*, *Labrus* и *Neogobius*. Увеличение вертикальной поворотливости у перечисленных форм, судя по всему, непосредственно связано с придонным образом жизни, при котором повороты в вертикальной плоскости совершаются чаще, чем в горизонтальной (Алеев, 1956).

В целом вертикальная поворотливость имеет для рыб несравненно меньшее значение, чем горизонтальная, т. к. все подвижные рыбы при совершении на больших скоростях поворотов в вертикальной плоскости обычно ложатся на бок и заменяют поворот в вертикальной (дорзо-вентральной) плоскости поворотом в горизонтальной (латеральной) плоскости, в результате чего поворот оказывается более экономичным (Алеев, 1956). Поэтому экологически различные формы рыб по характеристике z различаются много слабее, чем по характеристике Z .

При сравнении характеристик Z и z обращает на себя внимание то обстоятельство, что значения z у всех рыб, кроме некоторых камбал, в целом довольно близки к нулю, тогда как значения Z у большинства рыб, также исключая камбал, сохраняют отрицательный знак и обычно сравнительно далеки от нуля. Создается впечатление, что какой-то фактор в ходе эволюции не позволял увеличивать горизонтальную поворотливость до такого уровня, как вертикальную. Таким фактором явился, судя по всему, процесс приспособления к сохранению устойчивого положения рыбы во время движения, для чего нужно, чтобы центр тяжести обтекаемой встречным потоком рыбы находился несколько спереди от центра реакции, как это видно на рис. 1; в этом случае при изменениях

направления движения пара FR_1 ¹⁾ оказывает восстанавливающее действие, поддерживая постоянство направления движения. Таким образом, пара FR_1 в одно и то же время является и полезной и вредной. При изменении направления движения она имеет отрицательное значение, замедляя поворот, благодаря чему в онтогенезе и в филогенезе (в случае приспособления к более подвижному образу жизни) происходят морфологические изменения, направленные на ее уменьшение. В то же время, действие этой пары не может стать равным нулю, так как в этом случае положение рыбы, обтекаемой встречным потоком, сделалось бы неустойчивым. Следовательно, момент этой пары должен сохранять некоторую среднюю величину: достаточную, чтобы сохранить устойчивость рыбы при ее поступательном движении, и, в то же время, не настолько большую, чтобы существенно мешать изменению направления движения. О величине этого момента в относительных и сравнимых цифрах дает представление характеристика Z .

Так разрешается диалектическое противоречие между двумя процессами адаптации: горизонтальная поворотливость улучшается лишь настолько, чтобы это не ухудшало заметным образом устойчивость рыбы по отношению к встречному обтекающему потоку.

Можно задать себе вопрос — почему же в таком случае оказалось возможным улучшить вертикальную поворотливость до положительных значений z ? Ответ прост: потому, что горизонтальная продольная проекция у большинства рыб имеет значительно меньшую площадь, чем вертикальная, вследствие чего отклонение продольной оси рыбы от направления движения в вертикальной плоскости не создает таких значительных поперечных сил, как отклонение в горизонтальной плоскости, и потому не создает существенной угрозы изменения направления движения. Важное значение имеет, вероятно, и то, что рыбам свойствен способ движения с помощью латеральных, т. е. для большинства рыб (кроме камбал) горизонтальных изгибаний тела, при которых отклонение продольной оси тела от направления движения происходит постоянно. Именно поэтому, надо думать, устойчивость движения в горизонтальной плоскости у рыб обеспечена морфологически более основательно.

В таблице 2 и на рис. 4 показаны возрастные изменения поворотливости рыб. Из таблицы и рисунка видно, что с возрастом поворотливость рыб как горизонтальная (Z), так и вертикальная (z) увеличивается. В отношении горизонтальной поворотливости это уже было показано (Алев, 1957 б). Увеличение поворотливости с возрастом объясняется увеличением размеров рыбы и возрастанием скоростей движения; известно (Шулейкин, 1953), что максимальная доступная для любого водного животного скорость движения прямо пропорциональна корню третьей степени из его длины. Увеличение горизонтальной поворотливости (Z) с возрастом наблюдается у всех исследованных рыб, кроме камбал; у бабраули оно ограничено, видимо, пелагическим периодом жизни. Возрастные изменения характеристики z менее четки, что обусловлено тем, что вертикальная поворотливость для рыбы не имеет такого существенного значения, как горизонтальная, о причинах чего сказано выше.

Таким образом, мы имеем все основания считать, что горизонтальная поворотливость (Z) представляет собою очень важный элемент гид-

¹⁾ R_1 — составляющая R , по модулю равновеликая F .

Таблица 2.

Возрастные изменения поворотливости рыб

Виды и формы рыб	L в см	Z	z
Pleuronectes flesus luscus Pallas	17.6	+0.006	-0.087
	25.5	+0.007	-0.100
Rhombus maeoticus Pallas	5.7	+0.003	-0.073
	23.3	-0.014	-0.162
Auxis thazard (Lacépède)	29.1	-0.026	-0.001
	38.9	-0.019	-0.001
Scomber scombrus Linné	12.1	-0.033	-0.006
	13.0	-0.028	-0.006
	14.7	-0.025	-0.006
	15.2	-0.028	-0.003
	16.7	-0.021	-0.007
	21.8	-0.020	-0.003
Sarda sarda (Bloch)	17.6	-0.026	-0.003
	45.1	-0.023	-0.003
Acipenser stellatus Pallas	31.9	-0.042	-0.002
	45.0	-0.042	-0.007
	98.5	-0.024	0.000
Trachurus mediterraneus ponticus Aleev	1.6	-0.070	-0.011
	16.1	-0.051	-0.003
	43.3	-0.028	-0.007
Squalus acanthias Linné	44.0	-0.055	-0.003
	46.7	-0.052	-0.017
	67.0	-0.047	+0.003
	116.0	-0.038	+0.003
Pomatomus saltatrix Linné	4.8	-0.068	0.000
	4.9	-0.073	-0.003
	10.5	-0.073	-0.010
	15.1	-0.055	-0.003
	18.1	-0.055	0.000
	20.2	-0.046	+0.003
	20.8	-0.048	+0.003
	50.2	-0.039	-0.010
Glyphis glaucus (Linné)	165.0	-0.048	0.000
	180.0	-0.040	0.000
Sprattus sprattus phalericus (Risso)	6.0	-0.052	+0.003
	10.0	-0.040	+0.005

Продолжение таблицы 2.

Виды и формы рыб	L_v в см	Z	z
<i>Alosa kessleri pontica</i> (Eichwald)	8.0	-0.060	-0.003
	25.0	-0.041	+0.003
<i>Scyliorhinus canicula</i> (Linné)	34.0	-0.056	-0.006
	43.1	-0.043	-0.003
<i>Mustelus mustelus</i> (Linné)	48.0	-0.049	-0.003
	121.0	-0.046	-0.003
<i>Odontogadus merlangus euxinus</i> (Nordmann)	5.2	-0.073	-0.013
	41.6	-0.053	+0.004
<i>Mugil auratus</i> Risso	1.8	-0.087	-0.007
	34.2	-0.055	+0.010
<i>Atherina mochon pontica</i> Eichwald	1.6	-0.079	-0.006
	8.1	-0.056	-0.010
<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipow	4.5	-0.056	+0.003
	17.5	-0.056	0.000
<i>Spicara smaris</i> (Linné)	5.1	-0.067	0.000
	15.1	-0.058	0.000
<i>Clupeonella delicatula delicatula</i> (Nordmann)	4.3	-0.062	+0.003
	6.6	-0.058	-0.006
<i>Salmo trutta labrax m. fario</i> Linné	7.0	-0.093	-0.004
	7.9	-0.081	+0.004
	9.1	-0.082	-0.004
	10.5	-0.082	+0.008
	12.0	-0.077	-0.004
	13.5	-0.076	0.000
	15.4	-0.076	0.000
	22.0	-0.059	+0.003
<i>Zeus faber</i> Linné	12.0	-0.102	0.000
	22.2	-0.074	+0.011
<i>Scorpaena porcus</i> Linné	3.6	-0.095	+0.002
	22.0	-0.081	+0.025
<i>Trigla lucerna</i> Linné	26.9	-0.087	+0.010
	49.2	-0.084	-0.005

родинамики рыбы. Этот вывод подтверждается также и тем, что изменения характеристики Z идут параллельно с изменениями коэффициента сопротивления N (табл. 1): с уменьшением горизонтальной поворотливости (с алгебраическим уменьшением Z) наблюдается в целом законо-

мерное увеличение лобового сопротивления (увеличение N). Такая корреляция в изменении показателей Z и N свидетельствует о том, что оба они правильно отражают существующую в природе картину. Совокупное использование показателей Z и N создает цельное представление о гидродинамических качествах рыбы и позволяет оценить эти качества в цифрах, что имеет очень важное значение при решении ряда проблем филогении и систематики рыб и при изучении их онтогенетического развития, а также при разработке проблемы адаптации в ее общем виде.

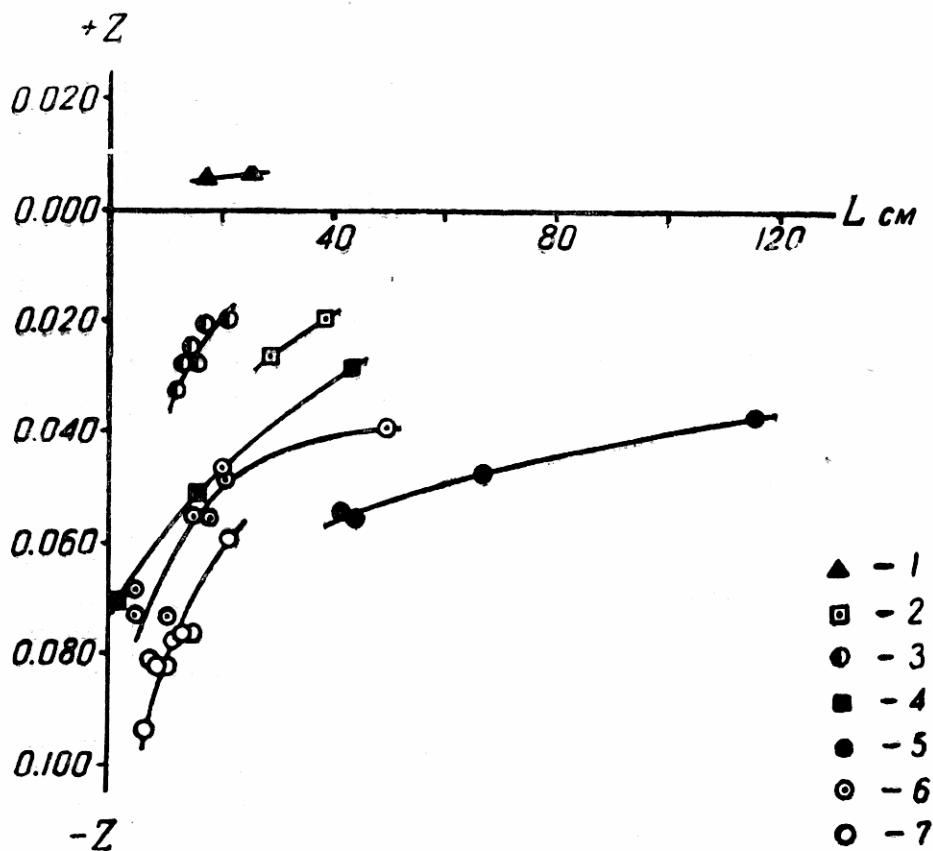


Рис. 4. — Изменения горизонтальной поворотливости (Z) в зависимости от длины (L) рыбы. 1—*Pleuronectes flesus luscus*, 2—*Auxis thazard*, 3—*Scomber scombrus*, 4—*Trachurus mediterraneus ponticus*, 5—*Squalus acanthias*, 6—*Pomatomus saltatrix*, 7—*Salmo trutta labrax m. fario*.

ЛИТЕРАТУРА

- Алеев Ю. Г., 1956. О функциональном значении бокового (горизонтального) положения тела у камбалообразных (*Pleuronectiformes*). ДАН СССР, т. 110, № 4.
 Алеев Ю. Г., 1957а. Ставриды (*Trachurus*) морей СССР. Тр. Севастоп. биол. ст., т. IX.
 Алеев Ю. Г., 1957б. Характеристика и топография функций плавников рыб. Вопр. ихт., вып. 8.
 Алеев Ю. Г., 1958. Приспособление к движению и поворотливость рыб. ДАН СССР, т. 120, № 3.
 Шулейкин В. В., 1953. Физика моря. Изд. АН СССР, Москва.