

УДК 597—151 : 639.2.081.193

**РЕАКЦИЯ НЕКОТОРЫХ ЧЕРНОМОРСКИХ РЫБ  
В ОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Л. А. БАЛАЕВ, Г. С. ФЕДОРЕНКО и А. Г. ГУСАР

В последнее время поведение рыб в различных полях электрического тока привлекает к себе внимание исследователей. Интерес к этому вопросу вызван большой перспективностью лова рыбы с помощью поля электрического тока как в пресных, так и в морских водоемах.

Для электролова рыбы могут быть использованы различные виды тока: переменный, постоянный, импульсный, униполярный [4, 6, 8].

Начиная с 1962 г. в АзЧерНИРО ведется систематическое изучение поведения различных видов черноморских рыб в однородном поле постоянного электрического тока. В 1962 и 1963 гг. в основном изучалось поведение мелкой черноморской ставриды в поле тока и его зависимость от физиологического состояния рыб [1]. В 1964—1965 гг. наряду с продолжением работ были проведены исследования поведения разных видов рыб в поле электрического тока. Опыты проводились в однородном поле постоянного электрического тока, так как в нем у рыб наблюдается наиболее четкая анодная реакция [4].

В поле постоянного тока у рыбы, в зависимости от величины напряженности поля, отмечают три характерных реакции, которые можно использовать для электролова: первичную, анодную и состоящие наркоза (шока).

По данным наших опытов и указаниям различных авторов [4, 7], величина напряженности поля электрического тока, вызывающая эти реакции, различна у разных рыб, зависит от величины пульсации постоянного тока и направления силовых линий тока (вертикальное или горизонтальное поле).

В связи с этим мы рассмотрели следующие вопросы:

1. Определение видовой чувствительности черноморских рыб к электрическому току.
2. Изучение поведения рыб в однородных полях различных источников постоянного тока.
3. Изучение поведения рыб в однородных вертикальных и горизонтальных полях электрического тока.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**

Опыты проводили с января 1964 г. по март 1965 г. в условиях стационарной лаборатории и в рейсах экспедиционных судов СРТ «Гонец» и «К. Болдырев» в Черном море.

Объектами исследования были: черноморская ставрида (*Trachurus trachurus* L.), черноморская хамса (*Engraulis encrasicolus* L.), барабуля (*Mullus barbatus ponticus* Essipov), смарида (*Spicara smaris* L.), судак (*Lucioperca lucioperca* L.), сапран (*Belone belone euxini* Gunther), скумбрия (*Scomber scombrus* L.), тюлька (*Clupeonella delicatula delicatula* Nordman), шпрот (*Sprattus sprattus phalericus* Risso), сельдь (*Alosa kessleri pontica* Eichwald), ласкирь (*Sargus annularis* L.), морской язык (*Solea solea* L.), звездочет (*Uranoscopus scaber* L.) и скорпена (*Scorpaena porcus* L.).

Рыбу отлавливали ставным неводом, тралом, конусной сетью или бессетевыми орудиями лова у берегов Крыма (Керченский пролив, Алушта, Ласпи) и Кавказа (Новороссийск, Поти, Батуми).

Для опытов отбирали наиболее здоровую неповрежденную рыбу.

Непосредственные визуальные наблюдения за поведением рыбы в горизонтальном поле электрического тока проводили в деревянном аквариуме, покрытом бакелитовым лаком, размером 1500×300×303 мм.

Значение напряженности поля, при которой у подопытных рыб появляется ряд последовательных реакций, определяли при восходящем токе, т. е. при ориентации рыбы головой к катоду.

Для определения порога реакции на короткое время включали ток.

В зависимости от ответа рыбы ток увеличивали или уменьшали. Поведение рыб в вертикальном поле исследовали в стеклянном цилиндрическом аквариуме диаметром 235 и высотой 300 мм. Питание на электроды подавали от ВСА-6м по схеме, приведенной на рис. 1.

При определении пороговых значений напряженности поля для трех последовательных реакций выжидали момент, когда рыба займет горизонтальное положение (параллельное электродам). В течение опыта анод размещали в начале сверху, а затем внизу.

Воду в аквариумах периодически меняли, поддерживая постоянный уровень. Периодически измеряли температуру воды и отбирали пробы на соленость, которую определяли затем сотрудники лаборатории гидрохимии АзЧерНИРО.

Во всех опытах применяли решетчатые электроды из биметаллической проволоки диаметром 3 мм, с размером ячеек 30×30 мм.

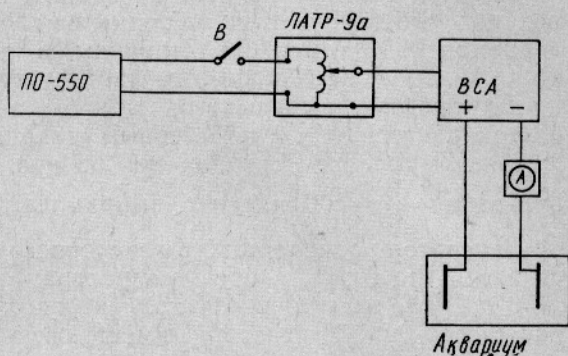


Рис. 1. Схема питания аквариума от выпрямителя ВСА-6м:

ПО-550 — преобразователь; В — пакетный выключатель; ЛАТР-9а — лабораторный трансформатор.

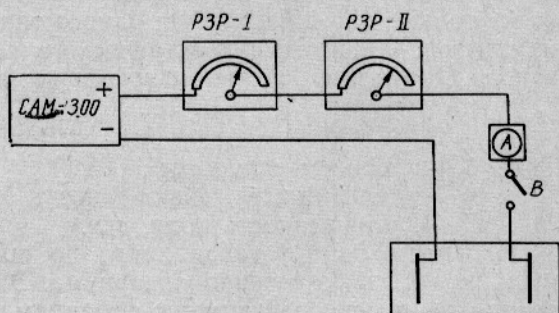


Рис. 2. Схема питания аквариума от агрегата САМ-300.

РЗР-I — регулировочное сопротивление 110 ом;  
РЗР-II — регулировочное сопротивление 45 ом.

Изучение поведения рыбы в лабораторных условиях проводили в поле тока, полученном от двухфазного селенового выпрямителя ВСА-6м. Однако экспериментальный лов рыбы в Черном море осуществляли с помощью поля тока, полученного от однопостового сварочного агрегата САМ-400. При сравнении пороговых значений напряженности поля для трех характерных реакций в указанных полях было отмечено, что пороговые значения напряженности в поле тока САМ-400 значительно выше, чем в поле тока ВСА-6м.

В связи с этим в полевых условиях параллельно с изучением поведения рыб в поле тока выпрямителя ВСА-6м исследовали поведение черноморской хамсы и ставриды в поле тока агрегата САМ-300 (рис. 2), имеющего такую же картину тока, как и САМ-400.

Двухфазный выпрямитель ВСА-6м дает пульсирующий ток, который характеризуется неизменным направлением, но значение напряжения изменяется периодически от нуля до максимального. Частота пульсации  $\frac{1}{T} = 100$  пер/сек, выпрямленный ток — двухполупериодный.

Генератор однопостового сварочного агрегата САМ-300 дает постоянный ток. На якоре генератора, вращающегося со скоростью 1450 об/мин, размещено 84 коллекторных пластины, поэтому электродвижущая сила генератора имеет очень незначительную пульсацию, и ток, отдаваемый генератором, практически постоянный. Таким образом, поведение рыб изучалось в поле пульсирующего и непрерывного постоянного тока. Для характеристики поведения рыбы в поле тока отмечали пороговые значения напряженности поля трех ответных реакций рыб, по методике, описанной ранее [1]. Каждую рыбу исключали только для определения одного типа реакции и затем исключали из опытов. Параметры электрического поля вычисляли на основании закона Ома в дифференциальной форме по формуле:

$$\delta = \gamma E, \quad (1)$$

где  $\delta$  — плотность тока,  $a/m^2$ ;

$\gamma$  — удельная электропроводность,  $om^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$E$  — напряженность поля,  $v/m$ .

Плотность тока устанавливали по показаниям амперметра и площади поперечного сечения аквариума. Электропроводность воды определяли по океанографическим таблицам Зубова, беря за основу соленость и температуру воды во время опыта.

Из формулы (1) находили напряженность поля:

$$E = \frac{\delta}{\gamma} \text{ в/м.}$$

Вычисленная по данной формуле напряженность учитывает влияние поляризации, которое в поле постоянного тока сказывается в значительной степени.

Весь цифровой материал обрабатывали статистически с вычислением среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ), ошибки выборочной средней ( $S_x$ ) и пределов доверительного интервала ( $\bar{x} \pm S_x t_{0,05}$ ) [5].

Все полученные данные оказались статистически достоверными.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Видовая чувствительность рыб к электрическому току

Так называемая видовая чувствительность рыб к току характеризуется величиной напряженности поля электрического тока, вызывающего первичную реакцию. Эта чувствительность изучена слабо, хотя

немало авторов уделяли ей внимание. Так, например, Н. В. Бодрова и Б. В. Краюхин [2, 3] изучали видовую чувствительность четырех видов пресноводных рыб в однородном поле переменного электрического тока. По их мнению, неодинаковое поведение рыб в поле электрического тока — следствие различного развития периферических рецепторов и соответствующих нервных центров у разных видов рыб.

Для сравнения видовой чувствительности различных рыб необходима какая-то единая мера, так как величина порогов реакций зависит от размера рыбы. Мы использовали для этого «условное напряжение тела», предложенное Гольцером [7], который показал, что разность потенциалов между головой и хвостом у рыбы, расположенной в электрическом поле вдоль линии тока, есть величина постоянная в пределах вида.

В. А. Шентяков [6] указал, что «условное напряжение тела» увеличивается с ростом длины тела, и установил функциональную зависимость между условным напряжением тела и длиной рыбы:

$$U_l = a + bl.$$

В наших исследованиях такой зависимости обнаружено не было. Значения условного напряжения тела, не изменяясь закономерно, незначительно отличались друг от друга в различных односантиметровых размерных группах.

Для примера можно привести пороговые значения условного напряжения тела трех реакций ставриды, имеющей наибольший диапазон колебаний размеров (табл. 1). Остальные виды исследованных нами рыб имели меньший диапазон колебаний и аналогичные изменения

Таблица 1  
Пороговые значения условного напряжения тела для трех реакций у ставриды разных размеров

Размер, см	Количество экз.	Условное напряжение тела, в		
		первичная реакция	анодная реакция	наркоз
6,0—6,9	5	—	0,75	2,05
7,0—7,9	15	—	0,78	2,05
8,0—8,9	5	—	0,69	2,26
9,0—9,9	8	—	0,81	2,01
10,0—10,9	4	—	0,94	1,94
13,0—13,9	8	0,07	0,68	1,82
14,0—14,9	28	0,10	0,72	1,83
15,0—15,9	41	0,07	0,67	1,88
16,0—16,9	20	0,08	0,67	2,0
17,0—17,9	5	0,06	0,66	2,12
Среднее		0,07	0,74	1,99

условного напряжения тела в каждой размерной группе. Поэтому мы сочли возможным привести осредненные значения условного напряжения тела для основных реакций разных видов черноморских рыб.

Кроме того, мы считаем необходимым сравнить «относительные числа», т. е. отношение условного напряжения тела определенной реакции к условному напряжению тела первичной реакции (впервые применены Ф. и Фр. Шеминскими для плотности тока различных реакций [4], так как относительные числа характеризуют переход от первичной реакции к анодной и электронаркозу).

Ранее мы наблюдали, что относительные числа, как и значения порогов реакций, в течение года изменяются. Поэтому условное напряжение тела и относительные числа вычисляли у рыб, исследовавшихся примерно в одно время — июле—августе ( $t_{\text{воды}}=24,0^{\circ}\text{C}$ ;  $S=13,5\%$ ;  $\gamma=2,2 \cdot 10^{-2} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ).

Таблица 2  
Видовая чувствительность к электрическому току у различных рыб Черного моря

Вид	Размер, см	Количество экз.	Условное напряжение тела, в			Отношение реакций
			первичная реакция	анодная реакция	наркоз	
Ставрида . . . . .	6—18	102	0,07	0,74	2,0	1:10—28,5
Скумбрия . . . . .	18—19	5	0,12	0,72	1,57	1:6÷13
Тюлька . . . . .	6—9	12	0,24	0,5	—	1:4,8
Смарида . . . . .	10—13	16	0,32	0,81	—	1:2,5
Хамса черноморская . . . . .	12—14	22	0,34	1,0	2,7	1:2,9÷7,9
Шпрот . . . . .	8—10	4	0,4	0,72	—	1:1,8
Барабуля . . . . .	10—15	44	0,4	—	—	—
Сельдь черноморская . . . . .	15—21	23	0,47	—	—	—
Судак . . . . .	14—15	8	0,47	1,55	—	1:3,5
Сарган . . . . .	37	7	0,67	2,7	4,0	1:4,0:8,5
Скорпена . . . . .	17 и 21	2	0,22	—	1,80	1:8,1
Ласкирь . . . . .	9—11; 13—16	38	0,33	—	1,8	1:5,4
Звездочет . . . . .	11—19	7	0,64	—	1,72	1:2,7

В табл. 2 приведено условное напряжение тела черноморских рыб, перечисленных по мере убывания их видовой чувствительности (кроме скорпены, ласкиря и звездочета). Самыми «чувствительными» к току оказались ставрида и скумбрия (0,07 и 0,12 в). На последнем месте стоит сарган (0,67 в). Резкого перехода от более чувствительных к менее чувствительным рыбам не наблюдается. Увеличение условного напряжения тела от одного вида к другому плавное, постепенное. Повидимому, среди черноморских рыб, нельзя выделить группы, резко отличающиеся по чувствительности к электрическому току.

Изменение относительных чисел не соответствует изменению условного напряжения тела. Наибольшие относительные числа были обычно у наиболее чувствительных рыб. Так, у ставриды анодная реакция наступает при напряжении тела в 10 раз, а наркоз в 28,5 раза больше, чем первичная, хотя для получения наркоза требовалось сравнительно небольшое напряжение — 2,0 в (у саргана оно в 2 раза выше).

Однако наименьшие относительные числа были отмечены у рыб средней чувствительности (смарида, хамсы и шпрота). Для получения последовательных реакций этих рыб требовалось значительно меньшее увеличение тока по отношению к первичной реакции, а по абсолютной величине напряжения тела было выше, чем у чувствительных рыб (см. табл. 2). Малочувствительные к току рыбы (судак и сарган) занимают по относительным числам промежуточное положение. Резко отличалось поведение скорпены, ласкиря и звездочета. У этих видов не было обнаружено направленного движения к аноду — анодной реакции. У скорпены и звездочета при определенной напряженности поля отмечался иногда анодный изгиб, т. е. поворот в сторону анода. При дальнейшем повышении напряженности поля рыбы оставались на месте и в таком состоянии впадали в наркоз.

Таким образом, видовая чувствительность исследованных видов черноморских рыб очень разнообразна и характеризуется напряжением тела от 0,07 до 0,67 в.

## Поведение черноморской хамсы и ставриды в однородных полях различных источников постоянного тока

В литературе нет сравнительных данных по действию на рыбу пульсирующего и непрерывного постоянного тока. Есть только указание Ф. Шеминского, Фр. Шеминского и Букача (Scheminsky Fe., Scheminsky Fr., Bukatsch F.) и Крейцера (Kreutrer C. O.) о действии прерывистого (импульсного) тока на рыбу (по Нусенбауму и Фалеевой [4]). С. Крейцер отмечает, что эффективное значение напряжения импульсного тока во много раз меньше, хотя пиковое напряжение отдельного импульса тока, необходимого для оглушения рыбы, в 1,5—2 раза выше, чем при обычном постоянном токе.

Для перехода от лабораторных данных к электролову нам необходимо было сравнить реакции рыб в поле тока САМ-300 и ВСА-6м.

Для исследования были взяты черноморская хамса и ставрида, как наиболее массовые и важные в промысловом отношении рыбы. Кроме того, они имеют положительную реакцию на искусственные источники света и могут быть обловлены с помощью электрического тока.

Опыты со ставридой были проведены в декабре ( $t_{\text{воды}}=8,8-9,5^{\circ}\text{C}$ , соленость  $S=18,8\text{‰}$ , электропроводность  $\gamma=2,25\div 2,11\cdot 10^{-2}\text{ ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ ), с хамсой — в феврале ( $t_{\text{воды}}=7-9^{\circ}\text{C}$ ,  $S=18,7-18,0\text{‰}$ ,  $\gamma=2,16\div 2,05\times 10^{-2}\text{ ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ ).

Ранее было показано [1], что пороговые значения напряженности поля для различных реакций ставриды не зависят от ее накормленности, степени зрелости гонад, пола, возраста и массы. Определяющим фактором является длина тела рыбы. Поэтому в данной работе в качестве биологической характеристики приводятся только размеры рыб. Хамса в наших опытах имела размеры 11,0÷13,9 см, ставрида 13,0÷17,9 см. Опыты ставили параллельно в поле тока с ВСА-6м и САМ-300.

Данные по пороговым значениям напряженности поля для основных реакций черноморской хамсы представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Пороговые значения напряженности для трех реакций черноморской хамсы в поле тока ВСА-6м и САМ-300**

Реакция	Размер, см	ВСА-6м			САМ-300		
		количество экз.	средняя и ошибка средней $\bar{x}\pm S_{\bar{x}}$ , в/м	границы доверительного интервала, $\bar{x}\pm S_{\bar{x}} t_{0,05}$ , в/м	количество экз.	средняя и ошибка средней $\bar{x}\pm S_{\bar{x}}$ , в/м	границы доверительного интервала $\bar{x}\pm S_{\bar{x}} t_{0,05}$ , в/м
Первичная	11,0—12,9	—	—	—	4	4,7±0,4	3,4÷6,0
	12,0—12,9	9	2,5±0,3	1,8±3,2	5	3,5±0,2	2,9÷4,1
	13,0—13,9	13	2,7±0,3	2,0±3,4	7	3,1±0,3	2,5÷3,7
Анодная	11,0—11,9	—	—	—	6	11,7±0,2	11,3±12,1
	12,0—12,9	9	7,7±0,3	7,1±8,3	12	12,3±0,6	11,0÷13,6
	13,0—13,9	14	7,4±0,3	6,8±8,0	6	13,2±1,4	9,8÷16,6
Наркоз	11,0—11,9	—	—	—	5	57,2±5,6	41,5÷72,9
	12,0—12,9	11	19,7±1,1	17,3±22,1	12	43,7±2,0	30,3÷48,1
	13,0—13,9	6	21,5±0,7	19,7±23,3	8	43,2±2,0	38,2÷48,0

Из табл. 3 видно, что пороговые значения напряженности поля для всех реакций хамсы в поле тока САМ-300 выше, чем в поле тока ВСА-6м. Порог первичной реакции повышается примерно в 1,4 раза, анодной — в среднем в 1,7 раза, а наркоза — в 2 раза.

Следует отметить, что границы анодной реакции в поле тока САМ-300 значительно расширяются (в поле тока ВСА-6м ее пределы —  $7 \div 19$  в/м, а в поле тока САМ-300 —  $13 \div 43$  в/м).

Анодная реакция в поле тока САМ-300 выражена менее четко, чем в поле тока ВСА-6м. Рыба движется к аноду как бы неуверенно, иногда по сложному пути, с частыми остановками, но возле анода удерживается.

Сравнительные данные по пороговым значениям напряженности поля различных реакций черноморской ставриды приведены в табл. 4.

Таблица 4

Пороговые значения напряженности для трех реакций ставриды в поле тока ВСА-6 и САМ-300

Реакция	Размер, см	ВСА-6м			САМ-300		
		количество, экз.	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ , в/м	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{0,05}$ , в/м	количество, экз.	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ , в/м	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{0,05}$ , в/м
Первичная	13,0—13,9	16	$1,0 \pm 0,1$	$0,8 \div 1,2$	—	—	—
	14,0—14,9	17	$0,9 \pm 0,1$	$0,7 \div 1,1$	4	$1,3 \pm 0,1$	$1,0 \div 1,6$
	15,0—15,9	14	$1,0 \pm 0,2$	$0,6 \div 1,4$	8	$1,3 \pm 0,2$	$0,8 \div 1,8$
	16,0—16,9	—	—	—	6	$1,2 \pm 0,1$	$0,9 \div 1,5$
	17,0—17,9	—	—	—	4	$1,5 \pm 0,2$	$0,9 \div 2,1$
Анодная	13,0—13,9	16	$5,8 \pm 0,3$	$5,2 \div 6,4$	—	—	—
	14,0—14,9	16	$4,8 \pm 0,3$	$4,2 \div 5,4$	4	$13,3 \pm 0,5$	$11,7 \div 14,9$
	15,0—15,9	14	$4,3 \pm 0,2$	$4,1 \div 4,5$	8	$13,3 \pm 0,4$	$12,3 \div 14,3$
	16,0—16,9	—	—	—	6	$12,9 \pm 1,0$	$10,3 \div 15,5$
	17,0—17,9	—	—	—	4	$13,5 \pm 0,7$	$13,3 \div 15,7$
Наркоз	13,0—13,9	16	$12,6 \pm 0,7$	$11,1 \div 14,1$	—	—	—
	14,0—14,9	17	$12,3 \pm 0,5$	$11,2 \div 13,4$	4	$62,8 \pm 4,5$	$48,4 \div 77,2$
	15,0—15,9	14	$10,7 \pm 0,9$	$8,7 \div 12,7$	8	$59,5 \pm 9,2$	$37,4 \div 81,6$
	16,0—16,9	—	—	—	6	$61,6 \pm 7,2$	$42,9 \div 80,3$
	17,0—17,9	—	—	—	4	$71,4 \pm 3,1$	$61,5 \div 81,3$

Различие в пороговых значениях напряженности в поле тока ВСА-6м и САМ-300 сказывается у ставриды в большей степени, чем у черноморского анчоуса. Для первичной реакции в поле тока ВСА-6м пороговое значение напряженности меньше, чем в поле тока САМ-300, в 2 раза, для анодной — примерно в 3 раза, а для наркоза — в 5 раз. Если в поле САМ-300 анодная реакция наступает при напряженности  $13$  в/м, то в поле тока ВСА-6м при такой же напряженности наступает состояние наркоза.

Границы анодной реакции у ставриды в поле тока САМ-300 еще шире, чем у хамсы. Анодная реакция здесь появляется при напряженности  $13$  в/м, а наркоз — при  $65$  в/м, тогда как в поле тока ВСА-6м напряженность поля для анодной реакции лежит в диапазоне  $3,3 \div 10,0$  в/м.

Анодная реакция у ставриды в поле тока САМ-300 выражена более четко, чем у черноморской хамсы, но менее четко, чем в поле тока ВСА-6м. Визуально это обнаруживается в более вялом движении ставриды к аноду в поле тока САМ-300, чем в поле тока ВСА-6м.

При исследовании ставриды в феврале в поле тока САМ-300 анодной реакции не удалось получить вообще. По нашему мнению, здесь сказалось влияние низкой температуры воды ( $3^{\circ}\text{C}$ ) в аквариуме (температура воды на горизонте лова ставриды была  $8^{\circ}\text{C}$ ).

В поле тока САМ-300 у черноморской ставриды значение напряженности почти не уменьшается с увеличением длины тела рыбы, как это наблюдается в поле тока ВСА-6м. Для первичной реакции, например, напряженность поля остается в пределах  $1,3$  в/м, в то время как

длина рыб изменяется от 14,0 до 17,9 см. Такая же картина наблюдается и для анодной реакции и состояния наркоза. Пороговые значения напряженности в поле тока ВСА-6м для тех же размеров ставриды изменяются значительно [1].

Одинаковое поведение хамсы и ставриды в поле тока САМ-300 дает возможность предположить, что и на хамсу непрерывный ток действует аналогично. Кроме того, при опытной ловле хамсы с помощью электрического тока было установлено, что только значительное изменение напряженности поля в пределах анодной реакции (10—15 в/м) начинает сказываться на размерном составе облавливаемой рыбы. Повидимому, непрерывный постоянный ток обладает меньшей селективностью, чем пульсирующий.

Таким образом, у ставриды обнаружено значительно большее, чем у хамсы, расхождение напряженности порогов реакций в поле тока САМ-300 и ВСА-6м. Это совпадает с более высокой видовой чувствительностью ставриды (как выяснено в предыдущем разделе) и, возможно, связано с ней.

Анализируя реакции рыб в полях различных источников постоянного тока, следует сделать вывод, что пульсирующий ток оказывает более сильное физиологическое воздействие на рыб, чем непрерывный.

В поле тока САМ-300 значительно расширяются пределы анодной реакции, что имеет существенное значение для расширения зоны облова электрических улавливающих устройств.

Поле тока САМ-300 по сравнению с полем тока ВСА-6м обладает меньшей селективностью, так как пороговые значения напряженности примерно одинаковы у различных размерных групп.

### Поведение рыбы в вертикальном поле электрического тока

Особый интерес представляет изучение поведения рыб в вертикальных полях, поскольку существует мнение об отсутствии анодной реакции в последних.

Спикер (Spieser) (по Нусенбауму и Фалеевой [4]) утверждает, что, если электроды расположены сверху и снизу, движения рыбы не происходит, так как особенности анатомического строения не позволяют ей изгибаться. Он наблюдал, что камбала, совершающая нормальные плавательные движения в вертикальной плоскости, плывет к аноду, расположенному у поверхности воды. Для выяснения этого вопроса

Таблица 5

Пороговые значения напряженности для трех реакций черноморской хамсы в горизонтальном и вертикальном полях тока ВСА-6м

Реакция	Размер, см	Горизонтальное поле			Вертикальное поле		
		количество экз.	$\bar{x} \pm S_x^-$ , в/м	$\bar{x} \pm S_x^- t_{0,05}$ , в/м	количество экз.	$\bar{x} \pm S_x^-$ , в/м	$\bar{x} \pm S_x^- t_{0,05}$ , в/м
Первичная	11,0—11,9	—	—	—	4	4,4 ± 0,6	2,5 ÷ 6,3
	12,0—12,9	11	1,5 ± 0,2	1,1 ÷ 1,9	13	3,8 ± 0,2	3,4 ÷ 4,2
	13,0—13,9	10	1,8 ± 0,2	1,3 ÷ 2,3	6	4,2 ± 0,4	3,4 ÷ 5,4
Анодная	11,0—11,9	3	8,6 ± 1,4	2,6 ÷ 14,6	9	7 ± 0,6	5,6 ÷ 8,4
	12,0—12,9	12	8,0 ± 0,4	7,1 ÷ 8,9	21	6,6 ± 0,5	6,5 ÷ 6,7
	13,0—13,9	9	8,0 ± 0,5	6,9 ÷ 9,1	13	7,6 ± 0,8	5,8 ÷ 9,4
Наркоз	11,0—11,9	3	14,3 ± 0,9	10,4 ÷ 18,2	3	32,9 ± 3,4	22,0 ÷ 43,8
	12,0—12,9	14	17,8 ± 0,5	16,7 ÷ 18,9	14	32,5 ± 1,53	29,2 ÷ 35,8
	13,0—13,9	7	17,1 ± 0,7	15,4 ÷ 18,8	5	33,3 ± 2,9	25,3 ÷ 41,3



в марте 1965 г. мы изучали поведение черноморской хамсы в вертикальном поле тока. Черноморская хамса была представлена размерной группой 11—13,9 см. Опыты проводились при следующих условиях:  $t_{\text{воды}} = 9,6-10^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 17,5-18,4\text{‰}$ ;  $\gamma = 2,00-2,13 \cdot 10^{-2} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Сравнительные данные по пороговым значениям напряженности в вертикальных и горизонтальных полях тока ВСА-6м приведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что пороговые значения напряженности поля для первичной реакции в различных полях были различны.

В горизонтальном поле порог первичной реакции наступает при  $E = 1,7 \text{ в/м}$ , а в вертикальном — при  $E = 4,0 \text{ в/м}$ , т. е. в вертикальном поле порог выше в 2,3 раза. В 2 раза повышается и пороговое значение напряженности для наркоза. Если в горизонтальном поле порог наркоза наступает при  $E = 16,1 \text{ в/м}$ , то в вертикальном — при  $E = 32,9 \text{ в/м}$ .

Порог первичной реакции характеризовался вздрагиванием при включении и выключении тока, рыба прижимала плавники, иногда отмечалось подергивание спинного плавника, то есть поведение рыбы аналогично поведению в горизонтальном поле.

Анодная реакция в вертикальном поле наступала при тех же значениях напряженности поля, т. е. при  $7 \text{ в/м}$ , что и в горизонтальном. Но диапазон анодной реакции был значительно шире. Если в горизонтальном поле анодная реакция находится в пределах напряженности  $8 \div 16 \text{ в/м}$ , то в вертикальном поле —  $7 \div 32 \text{ в/м}$ .

При напряженности поля, близкой к пороговому значению анодной реакции, наблюдается небольшой изгиб рыбы в вентрально-дорзальном направлении. Отмечаются резкие броски к аноду, часто рыба выпрыгивает из аквариума при достаточно большой напряженности, если анод расположен сверху. Столь же четкую анодную реакцию мы наблюдали и при расположении анода внизу, а катода сверху. Значения напряженности поля, вызывающие анодную реакцию, имеют одинаковую величину независимо от расположения анода.

Различие пороговых значений напряженности поля в вертикальных и горизонтальных полях для первичной реакции и наркоза объясняется тем, что в горизонтальном поле определение пороговых значений напряженности для реакций проводилось при восходящем токе, который оказывает более сильное физиологическое воздействие. В вертикальном же поле силовые линии тока направлены поперек тела рыбы. В таком положении на рыбу приходится меньшая разность потенциалов, поэтому, чтобы получить пороговое значение напряженности для первичной реакции и наркоза, необходимо увеличить напряженность поля.

Порог анодной реакции в наших опытах характеризовался направленным движением рыбы к аноду и удерживанием у него, поэтому анодная реакция появлялась при одних и тех же напряженностях поля независимо от направления силовых линий тока.

Кроме этих опытов, летом в однородном вертикальном поле изучалось поведение черноморской ставриды, барабули, смариды и морского языка. Опыты проведены всего с 22 экз. рыб, но материал интересен.

У всех перечисленных видов рыб при достаточной напряженности была отмечена анодная реакция. Пороговые значения напряженности анодной реакции в вертикальных и горизонтальных полях имели одинаковое значение.

Так, у черноморской ставриды размером 13—16 см порог анодной реакции в горизонтальном поле наступал при напряженности  $E = 6,2 \text{ в/м}$ , в вертикальном поле при  $E = 6 \text{ в/м}$ .

У барабули же размером 10—12,5 см порог анодной реакции в горизонтальном поле наступал при  $E=9,1$  в/м, в вертикальном поле — при  $E=10,5$  в/м.

При исследовании морского языка длиной 15,4 см была отмечена анодная реакция, порог которой наступил при напряженности  $E=10,2$  в/м.

В результате этих исследований было установлено, что анодная реакция в вертикальном поле существует и пределы ее значительно шире, чем в горизонтальном (у черноморской хамсы, например, в 2 раза). Изменяются только пороговые значения напряженности поля для первичной реакции и наркоза.

## ВЫВОДЫ

1. Видовая чувствительность исследованных видов черноморских рыб характеризуется условным напряжением тела от 0,07 в (ставрида) до 0,67 в (сарган). Резкого перехода от более чувствительных к току рыб к менее чувствительным не наблюдается. Изменение относительных чисел не соответствует изменению условного напряжения тела этих рыб.

2. Поле пульсирующего тока ВСА-6м оказывает на рыбу более сильное физиологическое воздействие; анодная реакция в нем выражена более четко, селективность его выше, но границы анодной реакции уже, чем в поле тока САМ-300.

3. В вертикальных полях тока ВСА-6м у всех исследованных видов рыб отмечена четкая анодная реакция. Пороговые значения напряженности в вертикальном поле постоянного тока для первичной реакции и наркоза в 2 раза выше, чем в горизонтальном, а для анодной реакции имеют одинаковую величину.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балаев Л. А. Реакции мелкой черноморской ставриды в однородном поле постоянного электрического тока, 1968.
2. Бодрова Н. В. и Краюхин Б. В. К вопросу о «видовой чувствительности рыб к электрическому току». Бюллетень института биологии водохранилищ АН СССР, № 5, 1959.
3. Бодрова Н. В. и Краюхин Б. В. О видовых различиях перехода рыб от первичной реакции к стадии электронаркоза при воздействии на них электрическим током. Бюллетень института биологии водохранилищ АН СССР, № 13, 1962.
4. Нусенбаум Л. М. и Фалеева Т. И. Биологические основы электролова рыбы. Известия ГосНИОРХ. Т. 52, Вып. 1, 1961.
5. Рокицкий П. Ф. Основы вариационной статистики для биологов. Изд-во Минского университета, 1961.
6. Шентяков В. А. Пресноводный электротраловый лов рыбы с применением переменного тока. Пищепромиздат, 1964.
7. Holzer W., Über eine absolute Reizspannung bei Fischen. Pflügers Arch., Bd. 229, 1931.
8. Peglow L. Electrofischerei in Meeren. Fischereiwelt. Hf. 3, 1949.