

УДК 639.2.081.193:597—151

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ НЕКОТОРЫХ ТРОПИЧЕСКИХ
ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ НА ИМПУЛЬСНЫЙ УНИПОЛЯРНЫЙ
ТОК В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ АКВАРИУМА****В. А. Пупышев**

В программу работ экспедиции 1962 г. на экспериментальном судне «Неринга» входило исследование реакции сардинеллы и других промысловых рыб шельфа Западной Африки на униполярный импульсный ток в однородном электрическом поле с целью определения параметров тока для получения минимальной реакции, анодной реакции и электронаркоза.

Учитывая, что опыты проводили в экспедиционных условиях и с видами рыб, реакция которых на импульсный униполярный ток изучалась нами впервые, полученные данные следует считать предварительными.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ОПЫТОВ

В качестве источника импульсного тока использовался лабораторный генератор, который обеспечивал получение униполярных импульсов экспоненциальной формы частотой от 1 до 100 периодов в секунду (*гц*). Амплитуду напряжения на электродах аквариума можно было регулировать от 0 до 300 *в* регулировочным реостатом, включенным в цепь разряда.

Требуемые параметры тока предварительно устанавливались при работе генератора на эквивалентное сопротивление.

Общая схема установки для исследования показана на рисунке.

Частота, продолжительность импульсов и напряжение измерялись осциллографом ЭНО-1.

Быстрое перегревание тиратронов генератора приводило к появлению сквозных зажиганий, что ограничило экспериментирование как по частоте — до 30 *гц*, так и по продолжительности импульсов при этой частоте — до τ — 8 *мсек*.

Экспериментальный бассейн представлял собой деревянный аквариум размерами 150×75×75 *см*, внутри выложенный клеенкой. По торцам аквариума были установлены плоские электроды, расстояние между которыми равно 145 *см*, и предохранительные щитки.

Количество воды в аквариуме всегда было одинаковым — 0,2 м³. Вода полностью менялась 1—2 раза в течение каждой серии опытов. Перед опытами измеряли температуру воды и сопротивление электродов в воде.

Рыбу для опытов выбирали из траловых уловов и уловов бортовой подъемной сетью. После вылова рыбу выдерживали в чане-садке объемом 1,5 м³, в котором постоянно прокачивали воду.

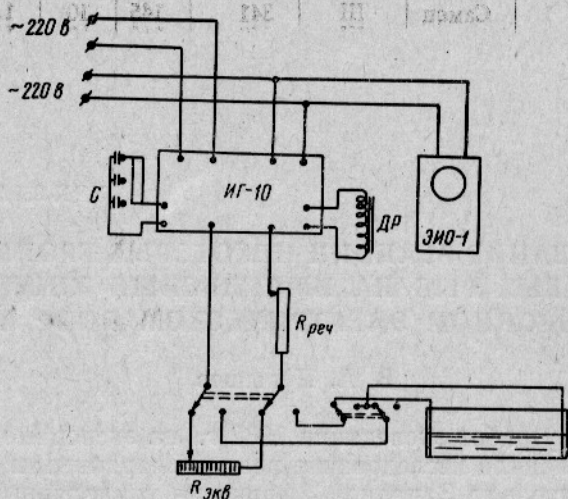


Схема опытной установки.

Опыты проводились с отдельными рыбами и со стайками в 5—10 рыб. При этом замеряли электрические параметры — частоту, продолжительность импульса и напряжение — и определяли длину по Смиуту, пол, зрелость, вес и наполнение желудка.

В тексте и таблицах приняты следующие буквенные обозначения:

f — частота, гц;

τ — константа продолжительности импульсов, мсек;

U — напряжение на тело рыбы при той или иной реакции, в;

C — емкость конденсаторной батареи, мкф.

Было исследовано следующее количество рыб¹, шт.

Сем. Clupeidae	
<i>Sardinella aurita</i> (Cuv., Val.)	15
<i>Sardinella eba</i> (Cuv., Val.)	3
Сем. Carangidae	
<i>Decapterus punctatus</i> (Agassiz)	40
<i>Caranx ronchus</i> (Geof. St. Silaire)	76
<i>Micropteryx chrysurus</i> (L.)	16
Сем. Sparidae	
<i>Pagellus canariensis</i> (Valenc)	4
Сем. Pristipomatidae	
<i>Pristipoma jubelini</i> (Cuv., Val.)	10
<i>Diagramma mediterraneum</i> (B.)	4

Указанное количество не учитывает рыб, с которыми проводились опыты по определению предварительных параметров тока, необходимых для настройки морской импульсной установки.

¹ До вида рыбы определены по определителю J. Cadenat ((Каден), Dakar, 1950.

ОПЫТЫ С САРДИНЕЛЛОЙ АУРИТА (SARDINELLA AURITA)
ДЛИНОЙ ОТ 12 ДО 22 см

Минимальная реакция рыб на ток выражена в подергивании тела при включении — выключении тока.

При $\tau > 0,3$ мсек и $f = 10 \div 15$ гц получена ясно выраженная анодная реакция. Эти параметры следует считать пороговыми для получения анодной реакции у сардинеллы при $U = 2,5$ в.

Параметры $\tau = 1,6$ мсек, $f = 10 \div 15$ гц при $U = 3 \div 6$ в можно рассматривать как оптимальные для получения анодной реакции.

При частоте и продолжительности импульса, недостаточных для получения анодной реакции, сардинелла беспорядочно металась у поверхности воды, не приближаясь к электродам.

При частоте и продолжительности импульса, достаточных для получения анодной реакции, сардинелла стремительно плыла к аноду. При оптимальных значениях параметров тока сардинелла плыла к аноду и из «трудных положений» (голова к катоду или рыба рядом с катодом).

При перемене полярности сардинелла поворачивалась и плыла к новому аноду.

При движении к аноду тело рыб напряжено и на глаз почти не изгибалось, ротовой аппарат и жаберные крышки были в фиксированном состоянии.

Сардинелла и другие более или менее быстрые рыбы мгновенно реагировали на моменты включения и выключения тока (особенно на включение). Рыбы в этот момент стараются выпрыгнуть из воды или делают стремительные броски в стороны.

Требуемое условное напряжение для получения у сардинеллы электронаркоза незначительно отличается (на 0,3—0,4 в) от оптимального условного напряжения анодной реакции при одинаковых частотах и продолжительностях импульсов. Для других рыб это не отмечено.

Сардинелла плохо переносит воздействие тока и после прекращения действия тока с параметрами, вызывающими электронаркоз, продолжительное время не может прийти в нормальное состояние.

ОПЫТЫ С САРДИНЕЛЛОЙ ЭБА (SARDINELLA EBA) ДЛИНОЙ ОТ 23 ДО 31 см

Поведение под током этого вида сардинеллы отлично от поведения *S. aurita*. Движения ее более спокойны, она не делает резких бросков и не выпрыгивает. При движении к аноду тело изгибается. Более спокойно реагирует на включение и выключение тока.

Анодная реакция при $\tau = 0,3$ мсек и $f = 10$ гц выражена хуже, чем при $\tau = 1,6$ мсек и $f = 10$ гц или $\tau = 0,3$ мсек и $f = 15$ гц ($U = 3 \div 4$ в).

ОПЫТЫ СО СТАВРИДОЙ (DECAPTERUS PUNCTATUS) ДЛИНОЙ ОТ 15 ДО 17 см

Минимальная реакция выражена вибрацией длинных грудных плавников.

Пороговыми параметрами импульсного тока для достижения анодной реакции являются продолжительность импульса $\tau = 1 \div 2$ мсек и $f = 10$ гц при $U = 3,0 \div 3,2$ в.

При меньших частоте и продолжительности импульса (до $\tau = 0,1$ мсек) анодной реакции не наблюдалось.

При повышении частоты от 10 до 16 гц и неизменной продолжительности импульса анодная реакция выражена более отчетливо, то же наб-

людалось при увеличении продолжительности импульса от $\tau=1$ до $\tau=8$ мсек при $f=10$ гц.

В результате опытов оптимальными параметрами для получения анодной реакции следует считать $U=2\div 3$ в, $f=15$ гц, $\tau=5\div 8$ мсек.

Более эффективно для получения анодной реакции и наркоза увеличение частоты.

Увеличение параметров импульсного тока выше оптимальных сказывается на четкости анодной реакции, которая даже при незначительном повышении частоты (до 17 гц с $\tau=5$ мсек) исчезает, рыбы находятся как бы в полунаркозе (при увеличении продолжительности импульсов это выражено менее четко).

Для электронаркоза характерны потеря равновесия, прекращение движений, растопыривание плавников и т. д.

В табл. 1 даны параметры для получения электронаркоза.

Таблица 1

Параметры тока для получения электронаркоза у ставриды (*D. punctatus*) (температура воды аквариума 27° С, сопротивление воды 2 ом; стадия зрелости III)

Длина, см	Пол	Вес, г	С	f	τ	U	Время наступления электронаркоза
16,8	Самец	71,5	40	10	0,3	9,2	Через 1 мин
16,7	Самка	72,0	80	10	0,8	6,22	То же
17,0	"	75,0	200	10	1,6	4,45	Мгновенно
17,0	"	74,0	200	15	1,6	3,52	"
16,0	"	68,0	800	5	8,0	4,96	Через 15 сек

В таблицах приведены только параметры электротока при электронаркозе, полученные при опытах на одновременно пойманных рыбах.

При электронаркозе у ставриды меняется окраска — становится более четким черное пятно, посредине тела появляется черная полоса, общий фон бледнеет.

Изучение под микроскопом участков кожи рыб, подвергнутых наркозу, показало, что меланофоры в потемневших участках растянуты и имеют интенсивный черный цвет (контракция меланофоров в определенных участках кожи). Меланофоры у рыб, не подвергавшихся действию тока, меньших размеров, а общий фон тела темнее.

Движение к аноду затруднено, рыбки избегают катода. Ставрида легче переносит воздействие тока с параметрами электронаркоза, чем *Sardinella aurita*.

ОПЫТЫ СО СТАВРИДОЙ (*CARANX RONCHUS*) ДЛИНОЙ от 24 до 36 см

Анодной реакции при действии импульсного тока с параметрами $f=1\div 20$ гц и $\tau=0,1\div 8$ мсек при всех возможных напряжениях получить не удалось.

Минимальная реакция выражена вздрагиванием хвостового стебля.

Увеличение напряжения усугубляло раздражение рыб. Ставрида начинала быстро двигаться по аквариуму с характерной интенсивной работой хвостового стебля. При приближении к электродам рыбы круто поворачивали обратно. Были отмечены резкие толчки хвостовым стеблем, стремительное движение от электродов и спокойное плавание в центре аквариума без резких толчков хвостовым стеблем.

Электронаркоз удалось получить только при $f=10\div 15$ гц с $\tau=1,2$ мсек и U до 12 в (табл. 2).

Таблица 2

Параметры тока для получения электронаркоза у *S. roschus*
(температура воды аквариума 26,7° С; сопротивление 2,5 ом)

Длина, см	Пол	Зрелость	Вес, г	C	f	τ	U	Время наступления электронаркоза
30	Самец	III	341	145	10	1,2	6,2	Через 4 мин
28	Самка	III	265	145	10	1,2	5,8	То же
26	Самец	IV—V	260,5	145	10	1,2	5,4	"
28	Самка	III	305	145	10	1,2	12,0	Через 16 сек
29	Самец	III	270	135	15	1,2	5	Мгновенно
31,5	"	III—V	384	135	20	1,2	3,94	"

ОПЫТЫ С МОЛОДЬЮ *S. RONCHUS* ДЛИНОЙ ОТ 13 ДО 15 см

Пороговую анодную реакцию удалось получить при продолжительности импульса с $\tau=1,4$ мсек, $U=3$ в и частотами 10—15 гц. Мгновенно реагируют на включение, выключение тока (броски, выпрыгивание и т. д.).

Анодная реакция, полученная при продолжительности импульса $\tau=6\div 8$ мсек и $f=5\div 7$ гц, тоже является пороговой, т. е. параметры импульсного тока $f=5\div 15$ гц, $U=6$ в, $\tau=1,4\div 8$ мсек можно назвать пороговыми.

Пороговое условное напряжение для достижения анодной реакции при больших частотах равно 3,1 в, а при меньших частотах, но больших τ , равно 6 в (средние данные). Более эффективно при получении анодной реакции увеличение частоты.

Оптимальными значениями параметров тока для достижения анодной реакции являются частоты от 10 до 15 гц при $\tau=7\div 8$ мсек и $U=2,5\div 3,1$ в.

На стайках рыб было проверено действие частот от 1 до 35 гц при $\tau=0,3$ мсек. При этом анодной реакции получено не было. На других стайках было проверено действие различной продолжительности импульсов с $\tau=0,08\div 10$ мсек при $f=2$ гц. Анодной реакции получить не удалось.

Электронаркоз выражен потерей равновесия, прекращением движений. После электронаркоза рыбы быстро приходят в нормальное состояние. В табл. 3 приведены параметры тока при электронаркозе.

Таблица 3

Параметры тока при электронаркозе (температура воды аквариума 24,1° С, сопротивление 4 ом, стадия зрелости III)

Длина, см	Пол	Вес, г	C	f	τ	U	Время наступления электронаркоза
14,2	Самка	38,2	80	15	0,4	7,35	Через 3 мин
13,8	"	37,0	30	15	0,2	7,15	То же
14,6	"	36,1	200	15	1,4	6,0	Через 20 сек
16,6	"	38,0	200	15	1,4	6,86	То же
15,1	Самец	37,0	200	10	1,4	7,3	Через 40 сек

ОПЫТЫ С MICROPTERYX CHRYSURUS ДЛИНОЙ ОТ 20,5 ДО 24 см

Для получения пороговой анодной реакции достаточны параметры $\tau=0,3 \div 1$ мсек и $f=15$ гц при U от 4 до 6 в и параметры оптимальной анодной реакции $\tau=1,6$ мсек и $f=10 \div 15$ гц.

Движение к аноду направленное и быстрое. Часто это очень плоская рыба теряет равновесие и без труда плавает на боку.

Каранкс очень чувствителен к замыканию и размыканию тока, он выпрыгивает из воды почти на метр и панически бросается в стороны.

Каранкс быстрее привыкает к току, нежели сардинелла и ставрида. Повторное включение импульсного тока с параметрами, достаточными для получения анодной реакции, часто не вызывает первоначального эффекта.

ОПЫТЫ С МОРСКИМ КАРАСЕМ (PAGELLUS CANARIENSIS) ДЛИНОЙ от 17 до 18 см

Придонная по сравнению с описанными выше медленно плавающая рыба. Под током ведет себя спокойно. Анодная реакция при $\tau=0,3 \div 1,6$ мсек и $f=10 \div 15$ гц хорошо выражена, рыбы спокойно и направленно идут к аноду. Менее чувствительна к замыканию и размыканию тока. Недостаточное количество опытов не позволяет выделить оптимальные и пороговые значения тока для анодной реакции. Опыты для получения электронаркоза не проводились.

ОПЫТЫ С ПРИСТИПОМОЙ (PRISTIPOMA JUBELINI) ДЛИНОЙ от 26 до 31 см

Придонная, относительно медленно плавающая рыба. Анодная реакция (пороговая) получена только у трех рыб, при этом $f=10 \div 15$ гц, $\tau=4,2$ мсек. Оптимальной анодной реакции получить не удалось.

Пристипома быстро привыкает к току. Почти не реагирует на размыкание — замыкание тока. С повышением напряжения при частоте от 3 до 15 гц и с τ от 1,2 до 4,2 мсек рыбы, не теряя равновесия, перестают двигаться, тело напряжено. Повышение напряжения до максимума ($U_{\text{усл}}=50 \div 60$ в) не вызвало электронаркоза. Рыбы при этом напряжении малоподвижны, внешне совершенно безразлично относятся к электродам и перемене полярности.

ОПЫТЫ С DIAGRAMMA MEDITERRANEUM ДЛИНОЙ от 25 до 29 см

Пороговая анодная реакция отмечена при $f=6,5 \div 10$ гц, $\tau=1,6 \div 4,2$ мсек и $U=10 \div 11$ в.

При $\tau=4,2$ мсек и выше и $f=10 \div 15$ гц рыбы медленно плывут к аноду в полунаркотическом состоянии.

Диаграмма, как и все исследованные придонные и относительно медленно плавающие рыбы, менее чувствительна к размыканию — замыканию электрического тока. Опыты для получения электронаркоза не проводились.

ВЫВОДЫ

1. В однородном электрическом поле импульсного униполярного тока (экспоненциальный импульс) определенных параметров отмечена четкая анодная реакция у следующих рыб: *Sardinella aurita*, *Sardinella*

eba, *Decapterus punctatus*, *Caranx ronchus*, *Micropteryx chrysurus*, *Pagellus canariensis*, *Diagramma mediterraneum*.

У взрослой *C. ronchus* длиной 25—35 см при воздействии импульсным током с $f=2 \div 20$ гц и $\tau=0,3 \div 1,6$ мсек анодной реакции получено не было, хотя у молоди она наблюдалась.

2. Низкая чувствительность и повышенная приспособленность к импульсному току отмечены у пристипомы.

3. Реакция на импульсный униполярный ток в однородном поле у тропических рыб мало отличалась как по внешнему поведению, так и по величине параметров тока от реакции рыб наших широт (с учетом особенности строения и поведения сравниваемых рыб).
