

Гистологические исследования воздействия системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (СЭПРО КРУЭВ) на гонады рыб

Канд. биол. наук

И.А. Столбунов* – ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб;

Канд. биол. наук **Е.А. Заботкина** – ведущий научный сотрудник

Канд. биол. наук **Е.И. Извеков** – ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб;

Канд. биол. наук **А.К. Смирнов** – старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб;

Канд. биол. наук

Д.П. Карабанов – ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН)

Канд. техн. наук **С.Н. Салиенко** – Генеральный директор;

А.В. Фролов –

Зам. Генерального директора; – ООО «ОСАННА»

Канд. техн. наук

Г.М. Мишелович – зав. лабораторией техники для рыболовства и рыбоводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга» (ФГБНУ «ГосНИОРХ»)

канд. техн. наук **А.Л. Эрслер** – главный специалист,

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации» (ФГБУ «ЦУРЭН»)

@ sia@ibiw.yaroslavl.ru

HISTOLOGICAL TESTS OF ELECTRONIC PROGRAMMABLE COMPLEX FISH-PROTECTING FACILITY OF ELECTRIC PRINCIPLE (EP EPRCFF) IMPACT

Stolbunov I.A., PhD, Zobotkina E.A., PhD, Izvekov E.I., PhD, Smirnov A.K., PhD,

Karabanov D.P., PhD – Institute of Inner Water Bodies, sia@ibiw.yaroslavl.ru

Salienko S.N., PhD, Frolov A.V. – LLC “OSANNA”

Michelovich G.M., PhD – State Research Institute of Lake and River Fisheries

Ersler A.L., PhD – Central Department for Fisheries Regulation and Norms

The data on Electronic Programmable Complex Fish-protecting facility of electric principle (EP EPRCFF) impact on gonads and gametogenesis of four abundant carp species (Cyprinidae) is given. Based on cytological and histological analysis of gonads from electro-treated fishes, an estimate of fishes' fertility is made.

Приведены данные экспериментальных исследований влияния электрического поля системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (СЭПРО КРУЭВ) на состояние гонад и гаметогенез 4-х массовых видов карповых рыб (*Cyprinidae*). На основании результатов цитологического и гистологического анализа гонад рыб, подвергнутых воздействию электрического поля СЭПРО КРУЭВ, дана оценка состояния воспроизводительной системы рыб.

Ключевые слова:

электрическое поле, рыбозащитное устройство, гонады рыб, гаметогенез рыб

Keywords:

electric field, fish-protecting facility, fish gonads, fish gametogenesis

ВВЕДЕНИЕ

Большое значение для установления степени экологической безопасности систем рыбозащиты имеет анализ возможных последствий, связанных с нарушениями воспроизводительной системы рыб и последующего эмбрионального и постэмбрионального развития потомства. Имеются лишь единичные работы в этом направлении. Поскольку воздействие электрических полей может оказаться вредным для рыб, экспериментаторы стремились оценить разнообразие потенциальных эффектов при наилучших возможных условиях. Так, Хилгер [10] подвергал взрос-

лого кижуча (*Oncorhynchus kisutch*) 10-секундному воздействию электрического поля напряженностью от 0,2 до 0,9 В/см и не обнаружил признаков повреждения. По мнению автора, воздействия такой продолжительности и амплитуды будут крайне редки, поскольку отпугивающий эффект градиента наблюдается при значительно меньшем напряжении. Кроме того, Хилгер [10] исследовал последствия аналогичного электрического воздействия (до 0,9 В/см) на процессы гаметогенеза (т.е. воздействуя электрическим током на производителей) и не обнаружил уменьшения жиз-

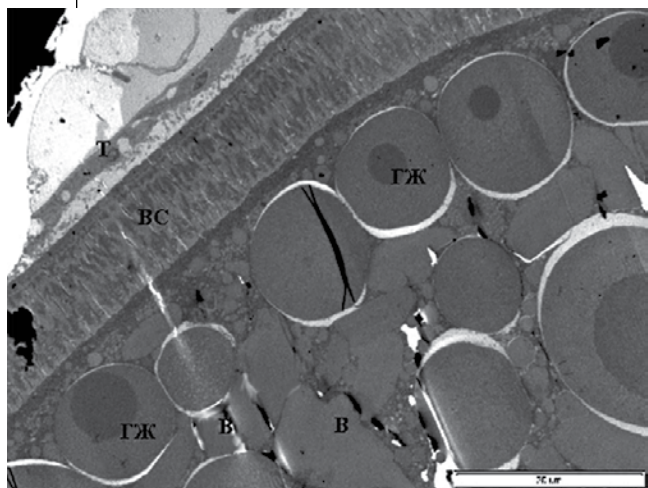


Рисунок 1. Структура оболочек ооцита на стадии трофоплазматического роста у густеры (контрольная группа рыб): В – вакуоли, ГЖ – гранулы желтка, ВС – ворсинчатый слой, Т – фолликулярные клетки

Figure 1. The structure of the oocyte shells at hustler's trophoplasmic growth stage (control group): В - vacuoles, GF - yolk granules, BC - villous layer, T - follicular cells

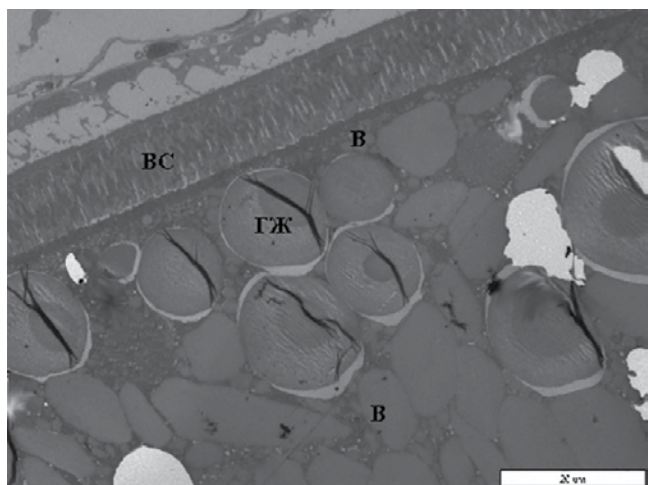


Рисунок 2. Структура оболочек ооцита на стадии трофоплазматического роста у густеры (опытная группа рыб): В – вакуоли, ГЖ – гранулы желтка, ВС – ворсинчатый слой

Figure 2. The structure of the oocyte shells at hustler's trophoplasmic growth stage (experimental group): В - vacuoles, GF - yolk granules, BC - villous layer

неспособности икры или нарушения процессов раннего развития.

В связи с недостатком информации по воздействию электрорыбозаградителей на репродуктивные процессы рыб, значительную ценность представляют многочисленные исследования, проведенные для оценки экологических последствий электролова [3; 1; 6]. По мнению большинства авторов, действие электрического тока на производителей и половые продукты

рыб (при тех параметрах, которые используются в практике электролова) не сказывается отрицательно на эмбриональном или постэмбриональном развитии потомства [15]. Наиболее подробно влияние электрического тока на процессы развития рыб было рассмотрено в работах Д. Ридля [14], а также в широкомасштабных совместных исследованиях сотрудников Института зоологии и паразитологии АН Литовской ССР и Клайпедского филиала специального экспериментально-конструкторского бюро промышленного рыболовства [8].

Ридль [14] исследовал влияние постоянного, переменного и импульсного электрического тока на производителей, икру и молоки щуки, плотвы, уклейки и красноперки. Продолжительность электрического воздействия составляла 20-30 с, т.е. соответствовала типичным значениям экспозиции рыб к воздействию тока, встречающимся в практике электролова. Напряженность поля соответствовала тем значениям, которые создаются в процессе электролова при использовании напряжения 300 В. Исследования показали, что от производителей, которые перед нерестом подверглись воздействию электрического тока, было получено нормальное в количественном и качественном отношении потомство.

Специалистами из Литвы [8] были изучены последствия регулярного многократного раздражения производителей рыб электрическим током. Опыты проводились на радужной форели *Salmo irideus*, американской палии *Salvelinus fontinalis* и серебряном карасе *Carassius auratus gibelio*, которых периодически подвергали электрическому воздействию с параметрами, вызывающими электроанкестоз: частота импульсов 25 Гц, длительность импульса 1,8 с, напряженность поля 0,50-0,53 В/см, продолжительность воз-

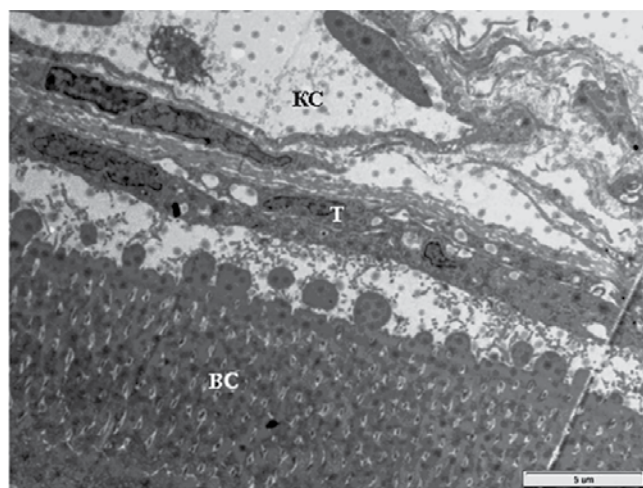


Рисунок 3. Ооцит плотвы (контрольная группа рыб): КС – кровеносный синус, ВС – ворсинчатый слой, Т – фолликулярные клетки

Figure 3. Roach oocyte (control group): CS - blood sinus, BC - villous layer, T - follicular cells

действия 30 секунд. Проведенные эксперименты позволили сделать вывод о том, что регулярная (1-2 раза в месяц) иммобилизация производителей рыб импульсным электрическим током не оказывает негативного влияния на развитие гонад. В результате многократного раздражения электрическим током наблюдался лишь небольшой сдвиг в развитии ооцитов: у радужной форели процесс вителлогенеза начинался раньше, а у серебряного карася формировалась более многочисленная первая генерация, что, по мнению авторов, может являться следствием стрессорной реакции организма [8].

В нашей стране был также накоплен большой опыт применения электрических заградителей для рыбоводных целей, в частности для задержания в реках производителей семги, кеты, байкальского омуля. Специальные исследования, проведенные в связи с этой проблемой сотрудниками ГосНИОРХ, в условиях рыбоводных заводов, продемонстрировали, что действие переменного тока частотой 50 Гц на производителей кеты при напряженности 0,2-1,0 В/см (от порога иммобилизации до значений, пятикратно превышающих этот порог) не вызывало изменений в проценте отхода полученной от них икры. Дальнейшее развитие личинок также не отличалось от нормы [4]. Аналогичные результаты получены на производителях омуля, а также на чире и муксуне [4; 7]. В то же время необходимо отметить, что в отдельных работах было показано, что электрошок может вызывать серьезные повреждения гамет или их преждевременный выброс, а иногда снижает жизнеспособность оплодотворенной впоследствии икры после того, как производители подвергались электрическому воздействию [16; 17].

Поэтому целью и задачей настоящей работы являлась оценка воздействия системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (СЭПРО КРУЭВ) на гонады и гаметогенез рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на 4-х видах карповых рыб: леще *Abramis brama* (L.), синце *Abramis ballerus* (L.), плотве *Rutilus rutilus* (L.) и густере *Blicca bjoerkna* (L.), отловленных в Волжском плесе Рыбинского водохранилища. В посленерестовый период (на II стадии зрелости гонад) подопытных особей рыб в сетчатом садке принудительно помещали в электрическое поле в непосредственной близости от системы электродов СЭПРО КРУЭВ (на расстоянии ~ 5 см). Время экспозиции каждого экземпляра рыб экспериментальной группы в поле составляло 2 минуты. Контрольные особи рыб не подвергались электрическому воздействию (их метили подрезанием кончиков спинных и анальных плавников).

Затем рыбу из экспериментальной и контрольной групп выпускали в нагульный пруд экспериментально-прудовой базы «Сунога»

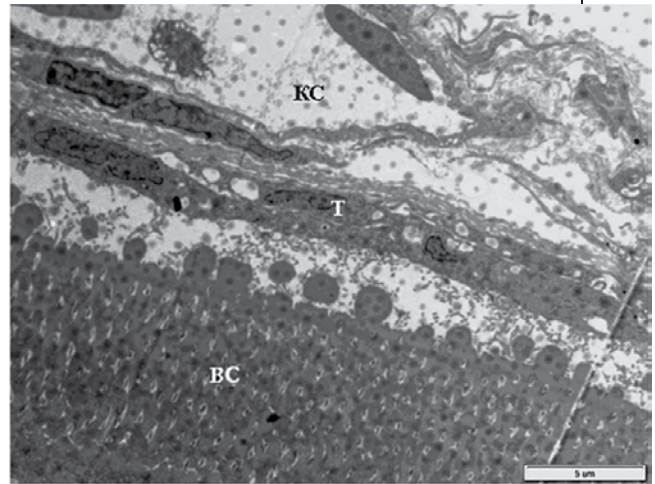


Рисунок 4. Ооцит плотвы

(экспериментальная группа): В – вакуоли, ВС – ворсинчатый слой, ГЖ – гранулы желтка, Т – фолликулярные клетки

Figure 4. Roach oocyte (experimental group): B - vacuoles, BC - villous layer, GF - yolk granules, T - follicular cells

(ИБВВ РАН). В течение периода с мая по сентябрь 2018 г. рыб контрольной и экспериментальной групп содержали в пруду (где происходил нагул рыб и созревание их гонад). В конце сентября пруд спустили, рыбу отлавливали и отбирали пробы для гистологического анализа.

Всего для гистологического анализа были отобраны образцы гонад от 22 экземпляров рыб обоего пола 4-х видов рыб (лещ, синец, плотва и густера) из контрольной и экспериментальной групп.

Выловленные для анализа рыбы имели гонады следующих стадий зрелости: лещ (♀ III, ♂ II); синец (♀ III, ♂ III), плотва (♀ III, ♂ III), густера (♀ III, ♂ III). У исследованных рыб, интактных и подвергнутых действию СЭПРО КРУЭВ, изы-

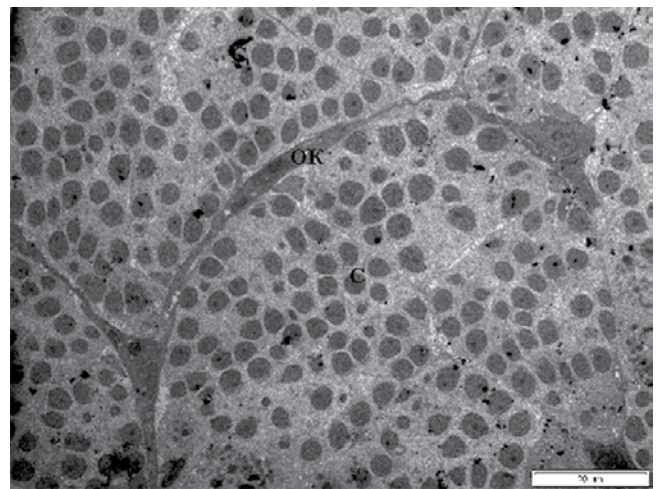


Рисунок 5. Семенники плотвы (контрольная группа рыб): ОК – оболочка капсулы,

С – сперматоциты

Figure 5. Roach seeds (control group): OK - capsule shell, C - spermatozoetes

мали не менее 4-х кусочков от каждой гонады. Образцы фиксировали в 2,5% глutarовом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере (pH 7,2), постфиксировали в 1% четырёхокси осмия на том же буфере. Затем проводили обезвоживание в батарее спиртов возрастающей концентрации и ацетона, высушивали для сканирующей электронной микроскопии и заливали в смесь эпоксидных смол (аралдита и эпона) для световой и просвечивающей электронной микроскопии. Из заливок приготавливали полутонкие и ультратонкие срезы.

От каждого образца изготавливали не менее 8 серий срезов – по 5 срезов в каждой (всего 3520 срезов). Полутонкие срезы окрашивали 1% водным раствором метиленового синего. Ультратонкие срезы окрашивали 1% водными

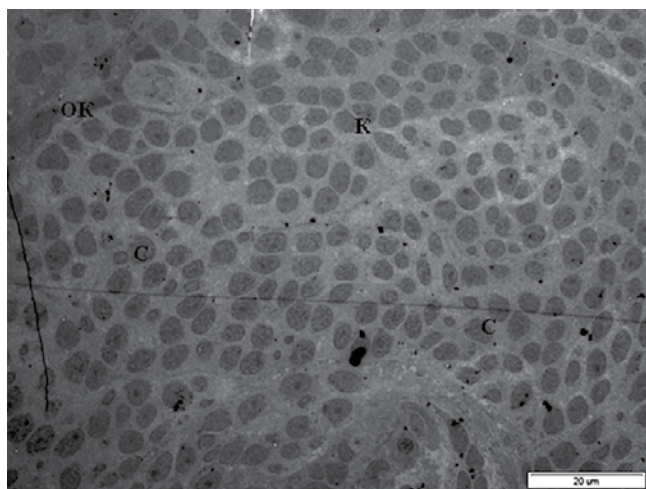


Рисунок 6. Семенники плотвы (экспериментальная группа рыб):

К – капсула, ОК – оболочка капсулы, С – сперматоциты

Figure 6. Roach seed (experimental group): K - capsule, ОК - capsule shell, C - spermatozoa

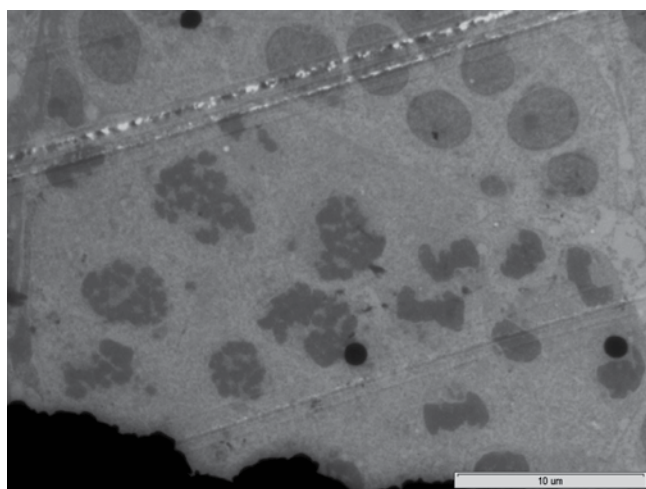


Рисунок 7. Зоны деления сперматоцитов плотвы (контрольная группа рыб)

Figure 7. Dividing zones of roach spermatozoa (control group)

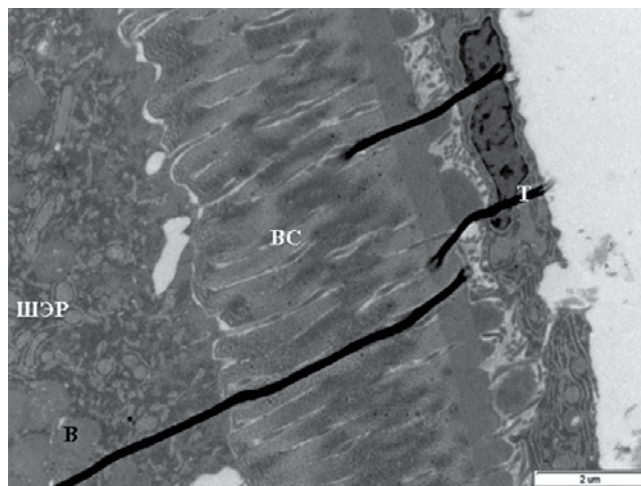


Рисунок 8. Структура оболочек ооцита синца (контрольная группа): ШЭР – шероховатый эндоплазматический ретикулум, ВС – ворсинчатый слой, Т – фолликулярные клетки

Figure 8. The structure of the shells of the synocyte oocyte (control group): SER - rough endoplasmic reticulum, BC - villous layer, T - follicular cells

растворами уранил ацетата и цитрата свинца. Образцы для сканирующего микроскопа напыляли золотом.

Полутонкие срезы просматривали под микроскопом Keyence 1000 VHX, ультратонкие – JEM-1011. При анализе полученных данных использовали классификацию клеток, приведенную в руководстве А.П. Макеевой [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Густера. В контрольной и экспериментальной группах рыб в яичниках рыб значительная часть ооцитов находится на стадии трофоплазматического роста, и в цитоплазме клеток, наряду с везикулами в краевой зоне клеток, присутствуют желточные гранулы (рис. 1, 2). Ворсинчатый слой и фолликулярная оболочка хорошо выражены. В семенниках основную массу клеток составляли сперматоциты I и II порядков, сперматогонии располагались пристеночно.

Плотва. В контрольной и экспериментальной группах рыб в яичниках рыб значительная часть ооцитов находится на стадии конца протоплазматического, начала трофоплазматического роста. В цитоплазме клеток в краевой зоне в основном содержатся везикулы и появляются редкие желточные гранулы (рис. 4). Ворсинчатый слой и фолликулярная оболочка хорошо развиты и имеют большую толщину по сравнению с густерой (рис. 3, 4).

В семенниках обеих групп рыб основную массу клеток составляли сперматоциты I и II порядков, сперматогонии располагались пристеночно (рис. 5, 6). Отмечены участки делящихся клеток размером около 10 мкм (рис. 7).

Синец. У синца большая часть ооцитов находилась на стадии протоплазматического роста,

и цитоплазма клеток была заполнена вакуолями (рис. 8, 9). Ворсинчатый слой и фолликулярная оболочка хорошо выражены. Фолликулярная оболочка плотно прилегает к ворсинчатому слою. Он значительно уже, чем у плотвы и густеры (порядка 6 мкм, по сравнению с 9-10 мкм у плотвы и густеры). В цитоплазме клеток хорошо визуализируются каналы шероховатого эндоплазматического ретикулума (рис. 9).

В семенниках основную массу клеток составляли сперматоциты I и II порядков, сперматогонии располагались пристеночно. Структура их была подобной таковой плотвы.

Лещ. У леща, как и у плотвы, большая часть ооцитов находилась в начале трофоплазматического роста и содержала желточные гранулы.

В семенниках в основном присутствовали сперматоциты I и II порядков. У рыб, как в контрольной, так и экспериментальной группах,

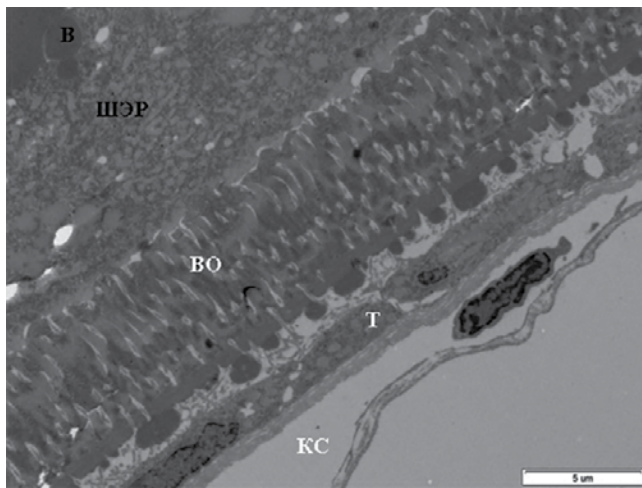


Рисунок 9. Структура оболочек ооцита синца (экспериментальная группа): КС – кровеносный синус, ШЭР – шероховатый эндоплазматический ретикулум, ВО – ворсинчатая оболочка, Т – фолликулярные клетки

Figure 9. The structure of the shells of the syncyte oocyte (experimental group): CS - blood sinus, SER - rough endoplasmic reticulum, VO - villous membrane, T - follicular cells

отмечены участки делящихся сперматоцитов (рис. 10-13).

Таким образом, проведенные исследования показали, что кратковременное пребывание производителей рыб в непосредственной близости от системы электродов работающей СЭПРО КРУЭВ не вызывает заметных цитогистологических отклонений в развитии гонад исследованных видов рыб. В то же время, в ряде работ по оценке безопасности электрических полей, параметры которых отличались от исследуемых параметров СЭПРО КРУЭВ, были получены иные результаты. Так, Р. Марриотт обнаружил, что воздействие переменного тока с частотой 60 Гц, при силе тока 5 А и напряжении 110 В, на

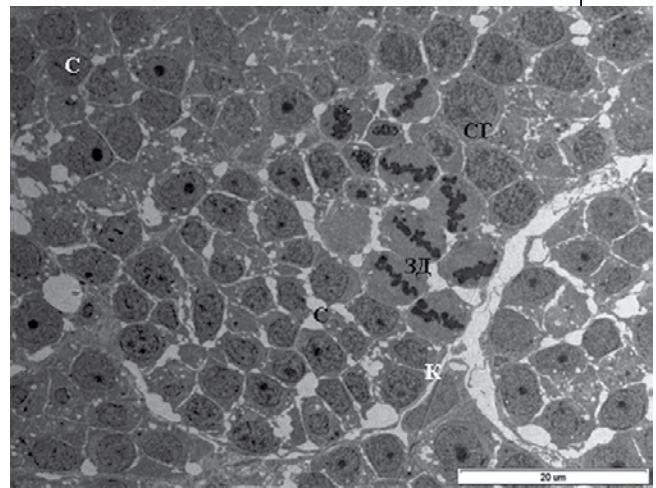


Рисунок 10. Семенники леща (контрольная группа): ЗД – зона деления клеток, С – сперматоциты, СГ – сперматогонии

Figure 10. Bream testes (control group): ZD - cell division zone, C - spermatocytes, SG - spermatogonia

половозрелых самок горбуши снижает выживаемость икринок на 11,8% [11].

В опытах Г. Максфилда с соавторами [12] сеголетки и годовики радужной форели подвергались 30-секундному воздействию униполярного импульсного тока (с частотой 8 и 5 Гц и напряженностью 1,0 и 0,75 В/см, соответственно). Было показано, что впоследствии плодовитость подопытных особей, а также смертность их потомства не отличались от показателей рыб, не испытавших электрического воздействия. Однако следует учитывать, что в этих опытах промежуток между шоком и нерестом был достаточно велик (не менее 7 месяцев). Поэтому остается неясным: либо репродуктивная система форели вообще не получила сколько-нибудь серьезных повреждений, либо они имели место, но рыбы

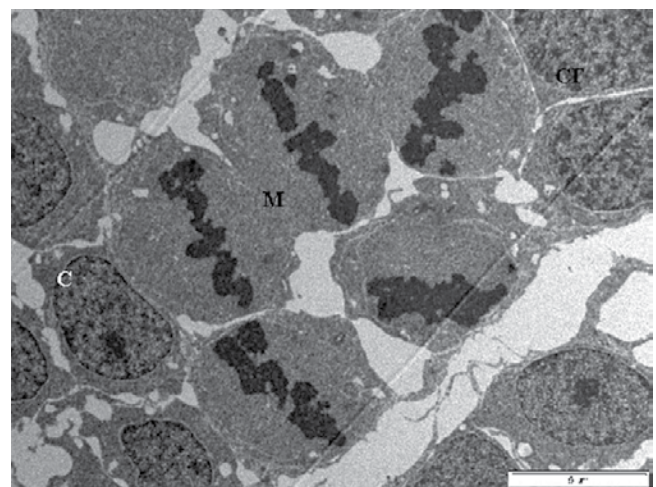


Рисунок 11. Деление сперматоцитов леща (контрольная группа рыб): М – мейотически делящиеся клетки

Figure 11. Division of bream spermatocytes (control group): M - meiotically dividing cells

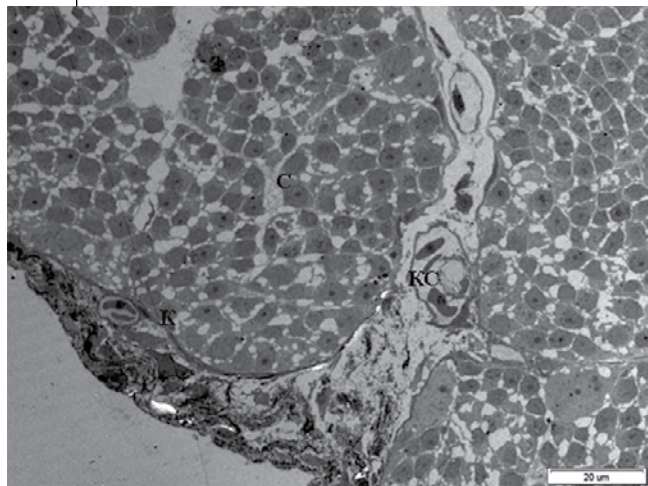


Рисунок 12. Семенники леща (экспериментальная группа): С – сперматоциты, КС – кровеносный синус. К – капсула

Figure 12. Testes of bream (experimental group): C – spermatozoa, KS – blood sinus. K – capsule

за это время успели полностью восстановиться после шока.

При сравнении самок чавычи *Oncorhynchus tshawytscha*, пойманных с применением электролова и взятых из рыбоподъемника, было обнаружено, что выживаемость личинок на стадии пигментации глаз и после начала активного плавания личинок была недостоверно, но устойчиво выше у самок из рыбоподъемника. Достоверно пониженные данные выживаемости показали только икринки от рыб, погибших после электрошока [9]. Более однозначные результаты были получены в опытах на горбатом чукучане *Xyrauchen texanus*. В лабораторных условиях исследовали влияние электрошока на

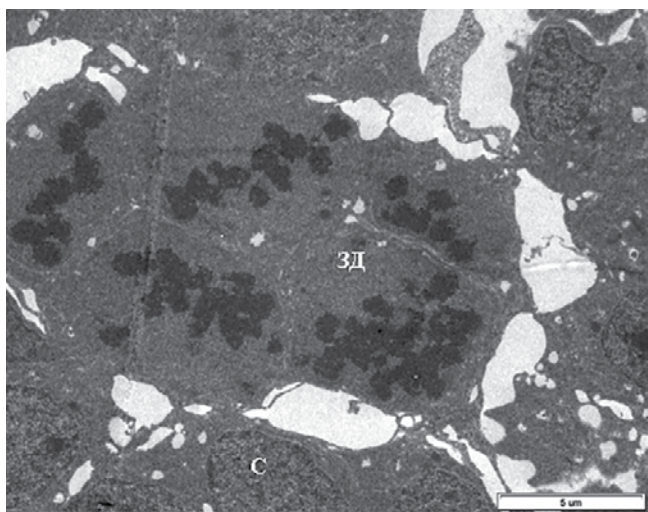


Рисунок 13. Деление сперматоцитов леща (экспериментальная группа рыб): ЗД – зона деления клеток, С – сперматоциты

Figure 13. Division of bream spermatozoa (experimental group): ZD – cell division zone, C – spermatozoa

зрелых особей этого вида рыб с использованием двух разных режимов импульсного тока при напряженности 1,0 В/см и оценивали успешность последующего выклева личинок. У всех исследованных особей наблюдался частичный выброс половых продуктов во время электрического воздействия. Средний процент вылупления личинок из икры, после воздействия обоих импульсных режимов, был достоверно ниже, чем в контроле [13].

В одной из работ было также показано отрицательное влияние электрического тока на размножение рыб с порционным икротетанием. Исследование проведено на американском представителе карповых – красной ципринелле *Cyprinella lutrensis* [18]. На рыб воздействовали импульсным электрическим полем ранцевого электроловильного агрегата и оценивали влияние двух разных уровней напряжения (100 и 400 В), а также двух режимов частоты следования импульсов (60 и 120 Гц). Было установлено, что при воздействии высокого напряжения (400 В) доля жизнеспособных икринок сокращалась, а интервалы между икротетаниями увеличивались, по сравнению с контрольной группой и особями, подвергавшимися воздействию пониженного напряжения (100 В). При этом общее число отложенных самками икринок в исследованных группах не различалось.

Однако необходимо подчеркнуть, что вышеупомянутые исследования [12; 11; 13; 9] проводились в связи с оценкой потенциальных негативных эффектов электролова, и поэтому, используемые в опытах, значения напряженности, как правило, были существенно выше, чем значения, характерные для электрорыбозаградителей. Кроме того, большинство таких исследований было проведено на лососевых рыбах. Известно, что среди видов рыб, не имеющих специализированных электрорецепторов, именно лососевые являются одними из самых чувствительных к воздействию электрического поля [15; 16; 17]. Тем не менее, зафиксированные случаи негативного влияния электрических полей на репродуктивные процессы свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения влияния на производителей рыб электрорыбозаградителей, с оценкой качества получаемого от них потомства.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Извеков Е.И. Влияние электромагнитных полей // Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. С. 308-323.
1. Izvekov E.I. Vliyaniye elektromagnitnykh poley // *Ekologicheskie problemy Verhney Volgi*. Yaroslavl: Izd-vo YAGTU, 2001. pp. 308-323.
2. Извеков Е.И. Воздействие антропогенных электрических полей на биоресурсы водоемов: итоги и перспективы исследований // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов. Материалы докладов I Всероссийской конференции с международным участием. 12–16 сентября 2011 г., Борок, Россия. В двух томах. – М.: АКВАРОС, 2011. Т. 1. С. 267-276.
2. Izvekov E.I. *Vozdejstviye antropogennykh elektricheskikh poley na bioresursy vodoemov: itogi i perspektivy issledovaniy* //

Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoemov. Materialy dokladov I Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. 12–16 sentyabrya 2011 g., Borok, Rossiya. V dvuh tomah. – M.: AKVAROS, 2011. T. 1. pp. 267-276.

3. Извеков Е.И., Асланов Г.А. Экологическая безопасность электролова и эффективность промысла во внутренних водоемах // ВНИЭРХ. Сер. Актуальные научно-технические проблемы отрасли. М., 2000. Вып. 2. С. 1-68.

3. Izvekov E.I., Aslanov G.A. Ekologicheskaya bezopasnost' elektrolova i effektivnost' promysla vo vnutrennih vodoemah // VNIERN. Ser. Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie problemy otrasli. M., 2000. Vyp. 2. pp. 1-68.

4. Майзелис М.Р., Мишелович Г.М. Перспективы промышленного электролова // Рыбн. х-во. 1989. № 8. С. 77-80.

4. Majzelis M.R., Mishelovich G.M. Perspektivy promyshlennogo elektrolova // Rybn. h-vo. 1989. № 8. pp. 77-80.

4. Майзелис М.Р., Шабанов В.Н. Исследование реакций производителей кеты на действие переменного тока в связи с применением электрических полей при рыбоводных работах // Изв. ГосНИОРХ 1975. Т. 96. С. 86-92.

4. Majzelis M.R., SHabanov V.N. Issledovanie reakcij proizvoditelej kety na dejstvie peremennogo toka v svyazi s primeneniem elektricheskikh polej pri rybovodnykh rabotah // Izv. GosNIORH 1975. T. 96. pp. 86-92.

5. Макеева А.П. Эмбриология рыб. М.: Изд-во МГУ, 1992. 216 с.

5. Makeeva A.P. Embriologiya ryb. M.: Izd-vo MGU, 1992. 216 p.

6. Мишелович Г.М. Техничко-биологическое обоснование экологически безопасных параметров электромагнитного поля для промысла и защиты рыб // Проблемы экологической безопасности промысла рыб на внутренних водоемах. Сб. науч. трудов ФГНУ ГосНИОРХ. Спб, 2004. Вып. 330. С. 43-60.

6. Mishelovich G.M. Tekhniko-biologicheskoe obosnovanie ekologicheski bezopasnykh parametrov elektromagnitnogo polya dlya promysla i zashchity ryb // Problemy ekologicheskoy bezopasnosti promysla ryb na vnutrennih vodoemah. Sb. nauch. trudov FGNU GosNIORH. Spb, 2004. Vyp. 330. pp. 43-60.

7. Петров В.Н., Ващинников А.Е. Влияние электрического поля на выживаемость ранней молоди рыб // Тр. комплекс. экспедиции Саратов. ун-та по изуч. Волгогр. и Саратов. водохранилищ. Полевые и лаб. исслед. беспозвоноч. и рыб. Саратов, 1982. С. 131-137.

7. Petrov V.N., Vashchinnikov A.E. Vliyaniye elektricheskogo polya na vyzhivaemost' rannej molodi ryb // Tr. kompleks. ekspedicii

Saratov. un-ta po izuch. Volgogr. i Saratov. vodohranilishch. Polevye i lab. issled. bespozvonoch. i ryb. Saratov, 1982. pp. 131-137.

8. Синявичене Д., Вирбицкас Ю. Развитие половых желез рыб // Последствие электрических полей на водных животных. Вильнюс, Мокслас, 1977. С. 43-49.

8. Sinyavichene D., Virbickas YU. Razvitie polovykh zhelez ryb // Posledejstvie elektricheskikh polej na vodnykh zhyvotnyh. Vil'nyus, Mokslas, 1977. pp. 43-49.

9. Barnes M.E., Lott J.P., Sayler W.A., Cordes R.J. Practical observations on the use of eggs from electroshocked females during spawning of inland fall chinook salmon // North American Journal of Aquaculture. 1999. V. 61. № 2. pp. 162-166.

10. Hilgert P.J. Evaluation of a graduated electric field as a fish exclusion device. Final report to Puget Sound Power and Light Co. Environmental Sciences. PO Box 97034. Bellevue, Washington 98009-9734. USA. 1992. 29 p.

11. Marriott R.A. Effects of electric shocking on fertility of mature pink salmon // Progressive Fish-Culturist. 1973. V. 35. P. 191-194.

12. Maxfield G.H., Lander R.L., Liscom K.L. Survival, growth, and fecundity of hatchery-reared rainbow trout after exposure to pulsating direct current // Trans. Amer. Fish. Soc. 1971. V. 100. P. 546-552.

13. Muth R.T., Ruppert J.B. Effects of two electrofishing currents on captive ripe razorback suckers and subsequent egg-hatching success // North American Journal of Fisheries Management. 1996. V. 16. № 2. P. 473-476.

14. Riedel D. Über eine Beeinflussung der Fischgeschlechtsproducte durch den elektrischen Strom unter besonderer Berücksichtigung der Elektrofischerei // Zeitschr. f. Fischer. 1954. Bd. 3. H. 1–3. S. 183-234.

15. Rümmler F., Schreckenbach K., Pfeifer M. Auswirkungen der Elektrofischerei auf fische // Fischer und Teichwirt. 1998. 49. № 3. S. 88-92.

16. Snyder D.E. Electrofishing and its harmful effects on fish. Information and Technology Report USGS/BRD/ITR–2003-0002, U.S. Geological Survey Biological Resources Division. U.S. Government Printing Office, Denver, CO. 2003a. 149 pp.

17. Snyder D.E. Invited overview: conclusions from a review of electrofishing and its harmful effects on fish // Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2003b. V. 13. P. 445-453.

18. Stewart C.T., Lutnesky M. Retardation of reproduction in the red shiner due to electroshock // North American Journal of Fisheries Management. 2014. V. 34. № 3. P. 463-470.

