

Департамент образования и науки города Севастополя
Государственное бюджетное образовательное учреждение
Центр дополнительного образования «Малая академия наук»
Центр выявления и поддержки одаренных детей
города Севастополя «Альтаир»

Номинация: экологический мониторинг

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ БОРЬБЫ С БИОПОМЕХАМИ НА ПРИБРЕЖНЫХ РЫБ ЧЕРНОГО МОРЯ

Работу выполнила:

Мороз Святослава Владимировна,
учащаяся творческого объединения
«Экотоксикология» ГБОУ
ЦДО «Малая академия наук»,
ГБОУ Гимназия № 5, 11 класс;

Научный руководитель:

Скуратовская Екатерина Николаевна,
педагог дополнительного образования,
руководитель творческого объединения
«Экотоксикология»
ГБОУ ЦДО «Малая академия наук»,
к.б.н., вед.н.с. ФИЦ ИнБЮМ

г. Севастополь 2026 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	5
РАЗДЕЛ 2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	8
2.1. Объекты экспериментальных исследований.....	8
2.2. Постановка эксперимента	9
2.3. Биологический анализ рыб.....	100
2.4. Методы определения биохимических параметров.....	11
2.5. Статистическая обработка данных.....	11
РАЗДЕЛ 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	12
3.1. Влияние УЗУ на поведенческие реакции, распределение и выживаемость рыб	12
3.2. Влияние УЗУ на поведенческие реакции, распределение и выживаемость рыб	13
ВЫВОДЫ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Обоснование и анализ актуальности выбранной темы. В последние десятилетия деятельность человека в морских районах постоянно расширяется. Наиболее быстро развиваются аквакультура, возобновляемые источники энергии, системы строительства плавучих электростанций, которые в будущем будут значительно наращивать свой потенциал. Все чаще тепловые и атомные электростанции (ТЭС, АЭС) размещают на морском побережье для забора больших объемов воды, необходимых для систем технического водоснабжения. Например, только на территории Российской Федерации функционируют две АЭС – Ленинградская и Плавучая (ПАТЭС), которые в качестве водоема-охладителя используют прибрежные морские акватории. Строятся АЭС в морских акваториях Турции, Бангладеш, Египта и Индии. Однако одной из проблем функционирования АЭС остаются биологические помехи, связанные с развитием организмов-обрастателей в водоводах. Биообрастания инициируют или ускоряют процесс коррозии подводных конструкций, ухудшают рабочие характеристики устройств и требуют дополнительных мероприятий по техническому обслуживанию. Биологические обрастания состоят из сообществ бактерий, микро- и макроводорослей, моллюсков, губок, мшанок, усоногих ракообразных, трубчатых полихет, асцидий и других организмов, поселяющихся и развивающихся на теплообменной поверхности аппаратов, в трубопроводах и на конструкциях охладителей оборотной воды.

Как правило, для борьбы с биообрастаниями погруженные в воду конструкции защищают с помощью противообрастающих покрытий. Такие покрытия содержат токсичные вещества, которые могут попадать в морскую среду и оказывать негативное воздействие на морских обитателей. Поэтому одной из первостепенных задач при эксплуатации АЭС является разработка новых экологически безопасных противообрастающих систем.

На сегодняшний день для борьбы с морским биологическим обрастанием предлагается несколько экологически безопасных подходов, в том числе покрытия с динамическими поверхностями, покрытия, предотвращающие обрастание, биоинспирированные покрытия, электролиз морской воды и акустические методы, к которым относится воздействие ультразвуком. В ряде экспериментов ультразвук, показал высокую эффективность для предотвращения биопомех на поверхностях, погруженных в пресную и морскую воду.

Специалисты отдела биохимических технологий и технологического обеспечения АО «ВНИИАЭС» разработали ультразвуковую установку (УЗУ) с разными режимами излучения для защиты гидротехнических сооружений от микрофитообрастаний. В результате совместной работы с сотрудниками отдела экологии бентоса ФИЦ ИнБЮМ была установлена высокая эффективность УЗУ против обрастаний, а также оптимальные режим и частоты воздействия. При этом натурные исследования, подтверждающие безопасность установки для гидробионтов, в частности рыб, попадающих в зону действия данной УЗУ, до сих

пор не проводились. Такие исследования являются необходимым этапом для внедрения в работу АЭС разработанной установки против биопомех.

На основании вышеизложенного цель работы заключалась в исследовании воздействия ультразвуковой установки, разработанной АО «ВНИИАЭС», на выживаемость, поведенческие реакции и биохимические показатели некоторых прибрежных видов рыб Черного моря.

На основании цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценить влияние УЗУ на выживаемость рыб.
2. Проанализировать влияние УЗУ на поведенческие реакции рыб и их распределение в садках.
3. Исследовать показатели окислительного стресса и активность ключевых антиоксидантных ферментов рыб при воздействии УЗУ.
4. Изучить показатели цитолитического повреждения и функционального состояния тканей, углеводного обмена.

Объекты исследований – массовые прибрежные виды рыб, относящиеся к разным систематическим и экологическим группам (султанка *Mullus ponticus*, рулена (губан) *Symphodus tinca*, морской ерш *Scorpaena porcus*, ставрида *Trachurus trachurus*, ласкирь *Diplodus annularis*, кефаль сингиль *Chelon auratus*, смарида *Spicara flexuosum Rafinesque*, морская ласточка *Chromis chromis*).

Предмет исследований – поведенческие реакции, биохимический отклик рыб на воздействие ультразвука.

Район проведения экспериментальных работ. Причал радиобиологического корпуса ФИЦ ИнБЮМ (Карантинная бухта, Черное море).

Методы исследования. Наблюдение за выживаемостью и поведением рыб в эксперименте, ихтиологические (биологический анализ рыб), комплекс спектрофотометрических методов определения биохимических показателей, статистический анализ полученных результатов.

Научная новизна полученных результатов. Впервые оценено воздействие ультразвуковой установки (мощностью 500 Вт, частотой 27 кГц, силой тока 3 А), для защиты гидротехнических сооружений от микрофитообрастаний, на поведенческие реакции, выживаемость и биохимические показатели некоторых прибрежных видов рыб Черного моря в условиях морской акватории.

Практическое значение полученных результатов. Проведенные экспериментальные исследования являются необходимым этапом работы для внедрения УЗУ. Разработанную АО «ВНИИАЭС», на АЭС, водоемы-охладители которых относятся к объектам рыбохозяйственного значения, в том числе к морским акваториям.

Личный вклад учащегося. Автор принимал активное участие в постановке и проведении эксперимента. Автором выполнен биологический анализ рыб, определены биохимические показатели в сыворотке крови и печени рыб, выполнен статистический анализ полученных данных, проанализированы результаты исследований, подготовлен проект.

Работа содержит 19 страниц, 14 иллюстраций, 14 источников.

РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Деятельность человека в морских районах постоянно расширяется. Среди этих видов деятельности наиболее быстро развиваются аквакультура, возобновляемые источники энергии, системы строительства плавучих электростанций, которые в будущем будут значительно наращивать свой потенциал. Морская среда предлагает множество источников для производства возобновляемой энергии (ветер, волны, приливы, течения, градиенты температуры и давления) [5, 8]. В последние десятилетия все чаще тепловые и атомные электростанции (ТЭС, АЭС) размещают на морском побережье для забора больших объемов воды, необходимых для систем технического водоснабжения [3]. Например, только на территории Российской Федерации функционируют две АЭС – Ленинградская и Плавучая (ПАТЭС), которые в качестве водоема-охладителя используют прибрежные морские акватории. Сейчас ведется активное строительство Госкорпорацией «Росатом» АЭС в морских акваториях Турции, Бангладеш, Египта и Индии.

При этом возникают различные проблемы, связанные с развитием организмов-обрастателей в водоводах. Биообрастание является одной из основных проблем, с которыми сталкивается морская промышленность. В энергетической промышленности организмы-обрастатели инициируют или ускоряют процесс коррозии металлических и бетонных конструкций, ухудшают рабочие характеристики устройств и требуют дополнительных мероприятий по техническому. Биологические обрастания состоят из сообществ бактерий, микро- и макроводорослей, моллюсков, губок, мшанок, усонюгих ракообразных, трубчатых полихет, асцидий и других организмов, поселяющихся и развивающихся на теплообменной поверхности аппаратов, в трубопроводах и на конструкциях охладителей оборотной воды обслуживанию [3, 8, 9].

Как правило, для борьбы с биообрастаниями погруженные в воду конструкции защищают с помощью противообрастающих красок и покрытия. Однако эти краски и покрытия содержат токсичные вещества, такие как следы металлов и усиливающие кобициды (цинк и медь пиритион, хлорталонил, зирам, зинеб, дихлофлуанид, диурон, которые могут попадать в морскую среду и оказывать воздействие на нецелевые морские организмы [12]. Таким образом, необходимо разработать новые экологически безопасные противообрастающие системы.

На сегодняшний день для борьбы с морским биологическим обрастанием предлагается несколько экологически безопасных подходов, в том числе покрытия с динамическими поверхностями, покрытия, предотвращающие обрастание, биоинспирированные покрытия, электролиз морской воды и акустические методы [8, 14].

Среди исследованных акустических методов, ультразвук, как сообщается, эффективен для предотвращения образования биологического загрязнения на поверхностях, погруженных в пресную и морскую воду. Наиболее

многообещающие результаты были получены для частот от 20 до 50 кГц. На этих частотах ультразвук, например, способен вызывать гибель многочисленных личинок ракообразных и двустворчатых моллюсков, удалять обрастающие организмы, ингибировать оседание, инактивировать зоопланктон и уменьшать толщину биопленки [8, 9]. Следовательно, ультразвуковая обработка может быть интересной альтернативой использованию токсичных противообрастающих покрытий. Тем не менее, ультразвук рассматривается как антропогенный шум, который может оказать потенциальное негативное воздействие на морскую флору и фауну [8].

К настоящему времени проведено несколько исследований по оценке длительного воздействия ультразвука на рыб. Например, изучали воздействие ультразвука на состояние широко распространенного обыкновенного карпа *Cyprinus carpio*, подвергнувшегося воздействию двухчастотного ультразвука 23 и 46 кГц от антибиопленочного ультразвукового устройства в течение 30 дней. Результаты этого исследования не показали, что ультразвук негативно влияет на благополучие и физиологический гомеостаз карпа [13].

В одной из работ представлены результаты по изучению влияния маломощного (7–9 Вт на выходе) двухчастотного (23 и 46 кГц) противоианобактериального ультразвукового устройства на карпа обыкновенного *Cyprinus carpio*. Результаты показали, что карпы не подвергались воздействию ультразвука при экспозиции в плавающих садках в прудах в течение 30-дневного периода. Продолжительность эксперимента была основным фактором, влияющим на все измеряемые биологические параметры у экспонированных и неэкспонированных организмов. Действительно, она положительно ассоциировалась с увеличением коэффициента упитанности рыб. Уровень кортизола также имел тенденцию к незначительному увеличению с количеством дней эксперимента, но его вариация не позволила выявить какой-либо стресс, связанный с воздействием ультразвука. Более того, можно было отметить общее снижение на протяжении экспериментального периода уровня экспрессии набора биомаркеров, включая активности клеточных антиоксидантных ферментов, таких как супероксиддисмутаза (SOD), глутатионпероксидаза (GPx), каталаза и глутатион-S-трансфераза (GST), а также активность лактатдегидрогеназы. Незначительные изменения этих биомаркеров зависели от типа ферментативной активности и, особенно, от происхождения рыбы (т.е. от пруда отбора проб) независимо от присутствия ультразвукового оборудования, отражая, тем самым, адаптацию рыб к местным условиям окружающей среды в каждом пруду. Таким образом, оценка специфических биохимических маркеров клеточных эффектов в форме антиоксидантных ферментов и активности лактатдегидрогеназы показала общее снижение активности ферментов со временем с незначительными и локальными вариациями в зависимости от рассматриваемого пруда, что позволяет предположить адаптацию рыб к различным условиям окружающей среды в каждом пруду независимо от воздействия ультразвука. Авторы сделали заключение, что для полной гарантии экологичности такой технологии потребуются дальнейшая

оценка сублетальных эффектов ультразвуковой обработки при различных условиях цветения цианобактерий [7].

Другие исследователи изучали влияние ультразвука на рост и микробиоту выращиваемого европейского лаврака *Dicentrarchus labrax* в лабораторных условиях. В то время как рост и выживаемость не снижались под воздействием ультразвука, микробиологический анализ с использованием подсчета колоний и метатаксономики на основе гена 16S рРНК показал нарушение микробиоты жабр и кожи, включая увеличение количества предполагаемых патогенных бактерий. Поэтому авторы сделали заключение, что необходимо проводить дальнейшие исследования долгосрочного воздействия ультразвукового противообрастающего контроля на здоровье и благополучие выращиваемой рыбы [8].

Таким образом, на основании литературных данных, можно заключить, что необходимо расширять знания о воздействии ультразвука на различные виды рыб путем проведения экспериментальных исследований.

РАЗДЕЛ 2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Объекты экспериментальных исследований

Объектами исследований служили восемь прибрежных видов рыб Черного моря, относящиеся к разным систематическим и экологическим группам - султанка (барабуля) *Mullus ponticus*, рулена (губан) *Symphodus tinca*, морской ерш (скорпена) *Scorpaena porcus*, ставрида *Trachurus trachurus*, ласкирь *Diplodus annularis*, кефаль сингиль *Chelon auratus*, смарида *Spicara flexuosum Rafinesque*, морская ласточка *Chromis chromis* (рис. 2.1).



султанка *Mullus ponticus*



морской ерш *Scorpaena porcus*



рулена *Symphodus tinca*



смарида *Spicara flexuosum Rafinesque*



ласкирь *Diplodus annularis*



морская ласточка *Chromis chromis*



кефаль сингиль *Chelon auratus*



ставрида *Trachurus trachurus*

Рис. 2.1 – Объекты исследований

Рыб отлавливали в осенний период с помощью донных ловушек в акватории Карантинной бухты (г. Севастополь) (рис. 2.2).



Рис. 2.2 – Район отбора проб

2.2. Постановка эксперимента

Экспериментальные исследования проводили на причале радиобиологического корпуса ФИЦ ИнБЮМ (Карантинная бухта) совместно со специалистами отдела биохимических технологий и технологического обеспечения АО «ВНИИАЭС», разработавшими УЗУ (рис. 2.3).



Рис. 2.3 – Причал аквариального комплекса ФИЦ ИнБЮМ (Карантинная бухта)

Для проведения эксперимента были подготовлены контрольный и опытный садки (рис. 2.4) с откидными крышками.



Рис. 2.4 – Изготовление садков

Контрольный садок был размещен на расстоянии 30 м от зоны опыта. Экспериментальный садок был закреплен около причала для размещения в нем излучающей аппаратуры (рис. 2.5).



Рис. 2.5 – Размещение садков у причала

Отловленных рыб рассаживали поровну в два садка и держали в садках в течение 5 дней до начала эксперимента для адаптации к экспериментальным условиям.

Продолжительность эксперимента составила три дня. Каждый день установку включали на 1 ч с частотой воздействия 27кГц. После трехдневного эксперимента рыбы содержались в садках еще в течение 5 суток для оценки возможных отсроченных эффектов.

За выживаемостью, поведением и распределением рыб в садках следили с помощью визуальных наблюдений и подводной видеокамеры.

2.3. Биологический анализ рыб

После эксперимента отобрали представителей трех видов рыб – морского ерша, султанку, рулену, численно преобладавших в садках. Рыб доставляли в лабораторию отдела ихтиологии ФИЦ ИнБЮМ для дальнейшего биологического анализа. Анализ включал измерение общей и стандартной длины, определение стадии зрелости, возраста, пола, массы рыбы и тушки, печени.

2.4. Методы определения биохимических параметров

В печени рыб определяли активность супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и холинэстеразы (ХЭ), содержание продуктов окислительной модификации белков (ОМБ), перекисного окисления липидов (ПОЛ), в печени и сыворотке крови анализировали активность аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ) методами, описанными в работе [11].

Все определения биохимических параметров проводили на спектрофотометре СФ-2000 (рис. 2.6). Биохимические показатели пересчитывали на 1 мг белка сырой массы ткани, концентрацию которого определяли с использованием стандартного набора реагентов “ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ” (Россия).



Рисунок 2.6 – Спектрофотометр СФ-2000

2.5. Статистическая обработка данных

Статистическую обработку данных проводили по Лакину (1990) [2]. Вычисляли среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (σ), ошибку среднего арифметического (m). Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна–Уитни. Различия между сравниваемыми рядами считали достоверными и статистически значимыми при $p \geq 0,05$.

РАЗДЕЛ 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Влияние УЗУ на поведенческие реакции, распределение и выживаемость рыб

Перед экспериментом рыбы свободно плавали в садке, не опасаясь плавающей на поверхности воды установки. После включения прибора в экспериментальном садке, где не было прямого воздействия ультразвука, губаны, скорпены, кефали, смариды, ласкири, ставриды не меняли своего поведения и места расположения. Однако барабули, оказавшиеся под установкой на дне садка, стали активно перемещаться в сторону экземпляров своего вида, располагались вне зоны действия прибора. Во время работы прибора рыбы пытались избегать зоны ультразвукового воздействия. Вне зоны действия УЗУ экспериментальные особи вели себя так же, как и до начала работы прибора (рис. 3.1).



Рис. 3.1 – Перемещение рыб во время работы прибора

На второй день перед запуском прибора рыбы были равномерно распределены по всему садку садка. После включения УЗУ особей барабули пытались направить. Особи группой направлялись под прибор и находились так длительное время, иногда пытались подняться вверх, что свидетельствовало о потере ориентации и оглушении ультразвуком. Сходные реакции наблюдались у особей ставриды и смариды. Другие виды рыб, находившиеся вне в зоны действия прибора, свободно перемещались по садку.

На 3-й день исследований работа УЗУ не оказывала какого-либо заметного воздействия на особей всех видов. Рыбы спокойно перемещались по без признаков беспокойства или потери ориентации.

За все три дня эксперимента наименее выраженные поведенческие реакции наблюдались у скорпены.

Во время эксперимента выживаемость рыб в опыте и контроле составила 100%.

3.2. Влияние УЗУ на поведенческие реакции, распределение и выживаемость рыб

Ответные реакции гидробионтов на воздействие различных факторов среды оценивают по комплексу биохимических параметров, в том числе по показателям окислительного стресса и антиоксидантной защиты [4, 6, 11]. В наших исследованиях отсутствие достоверных различий между показателями окислительного стресса (уровень ПОЛ и ОМБ) и активностью антиоксидантных ферментов (СОД, КАТ) в печени рыб из опытной и контрольной групп могут свидетельствовать о том, что установка (500 Вт) с заданной частотой, периодичностью и продолжительностью работы не оказывала какого-либо воздействия на состояние прооксидантно-антиоксидантной системы печени рыб (рис. 3.2 – 3.5).

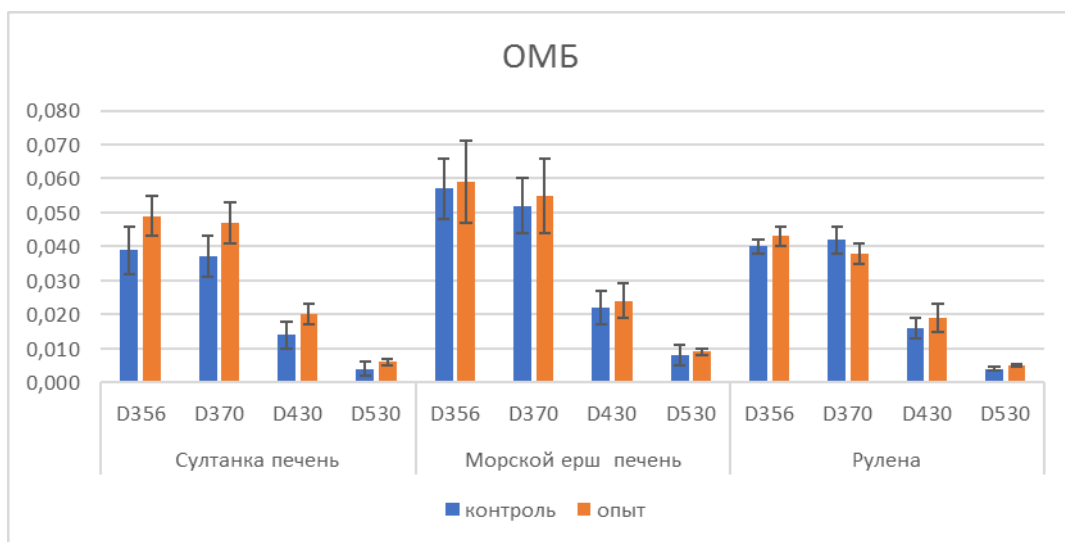


Рис. 3.2 – Окислительная модификация белков

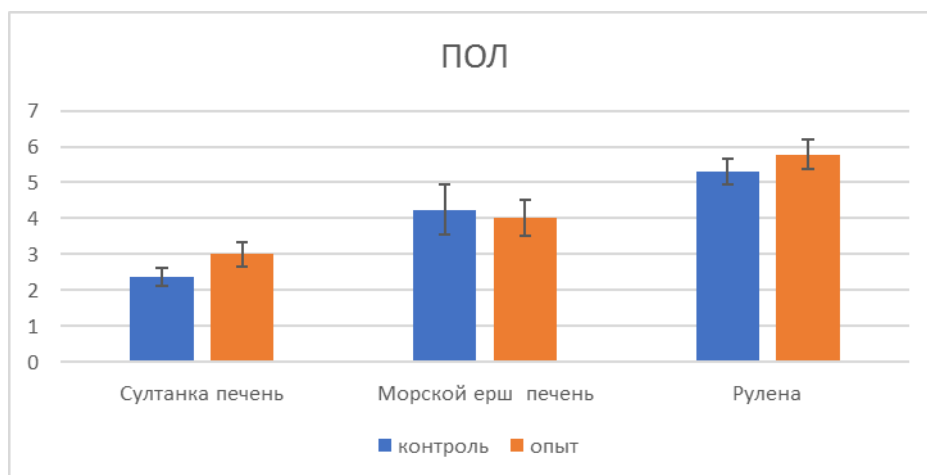


Рис. 3.3 – Перекисное окисление липидов

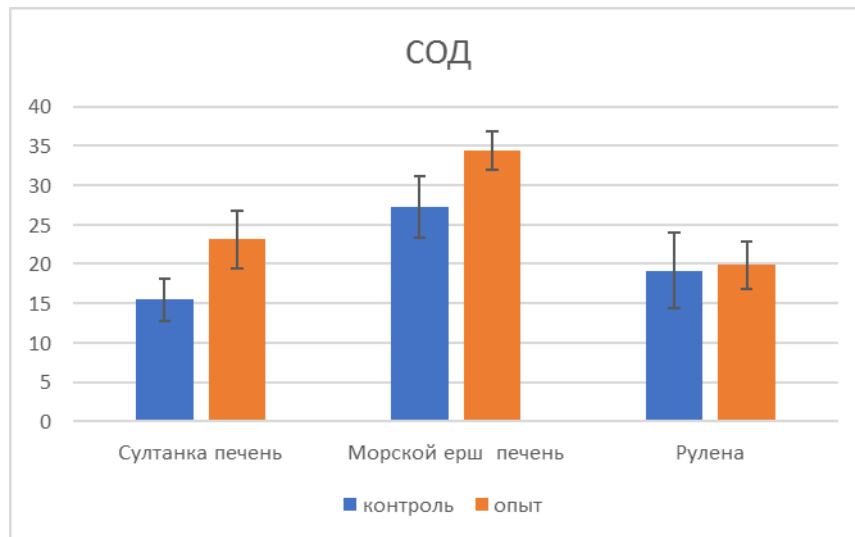


Рис. 3.4 – Супероксиддисмутаза

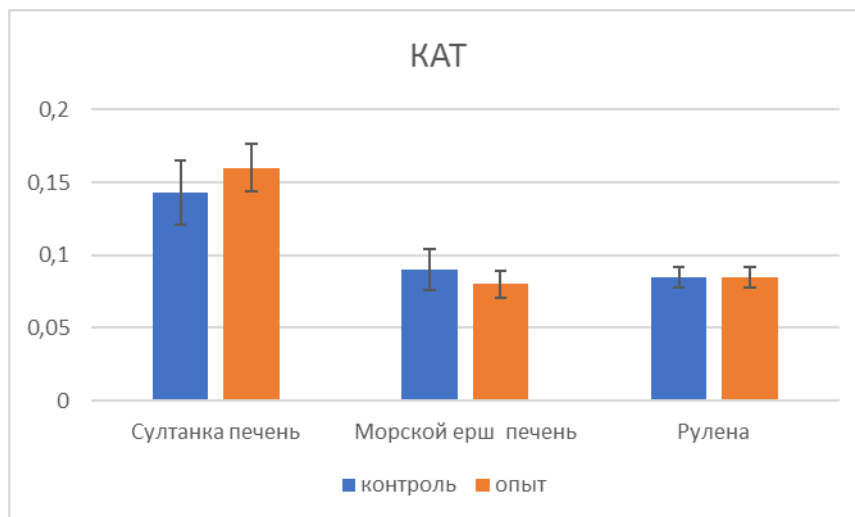


Рис. 3.5 – Каталаза

Другими информативными показателями, которые используются для оценки цитолитического повреждения органов в условиях окислительного стресса, являются АЛТ и АСТ. Аминотрансферазы могут выступать в качестве биомаркеров стресса. В результате нарушения целостности клеточной мембраны аминотрансферазы попадают в кровь. При этом их активность снижается в органе и увеличивается в сыворотке крови [6]. В данном исследовании активности АЛТ и АСТ в печени и сыворотке рыб из опыта и контроля не различались, что свидетельствует об отсутствии воздействия УЗУ (при заданной частоте и режиме воздействия) на организм рыб (рис. 3.6).

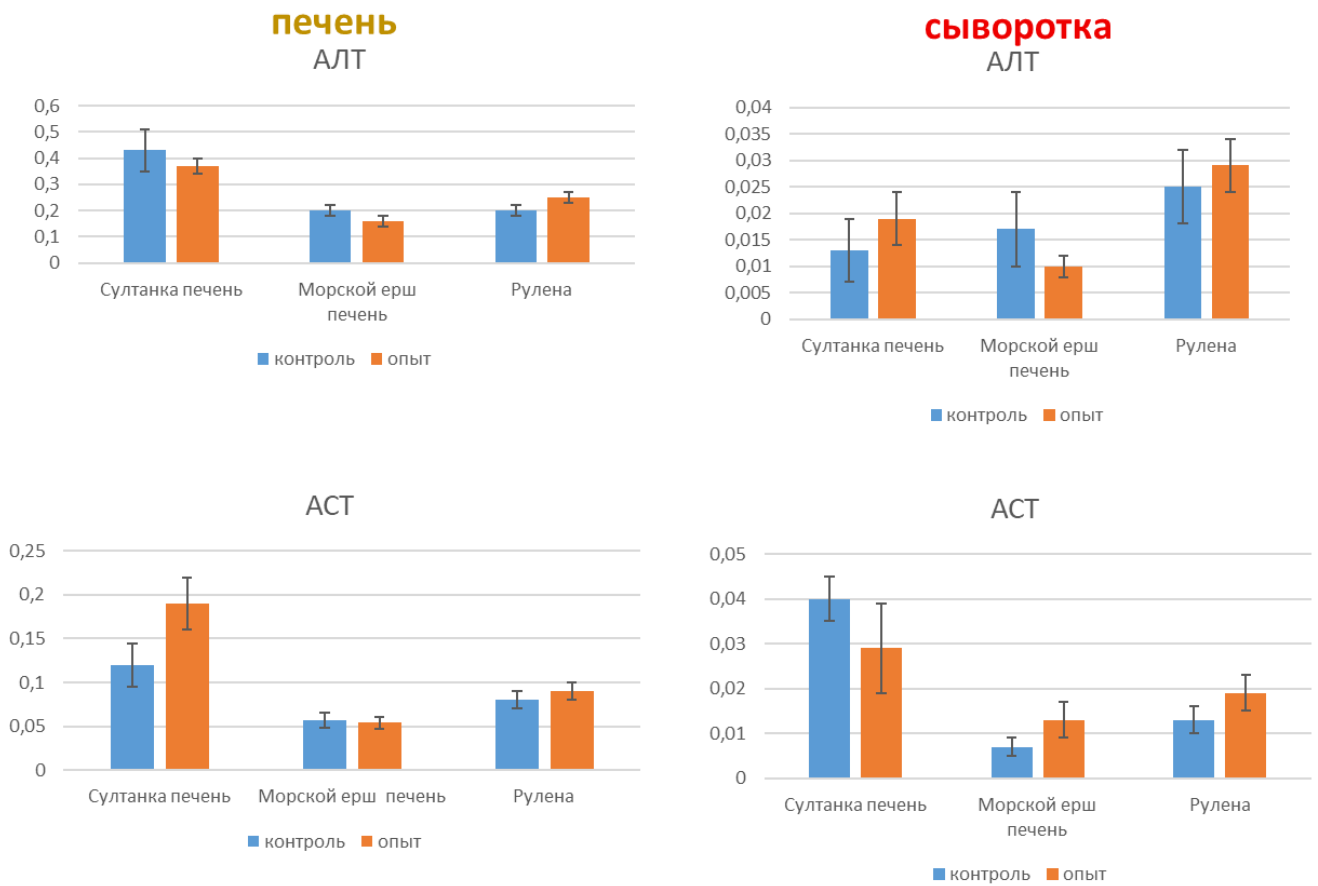


Рис. 3.6 – Активность аланинаминотрансферазы и аспаратаминотрансферазы в печени и сыворотке крови рыб

Содержание глюкозы в печени – показатель углеводного обмена. Отсутствие достоверных различий между анализируемыми группами султанки и морского ерша может свидетельствовать об отсутствии перестроек обменных процессов, при действии стресс-факторов (рис. 3.7).

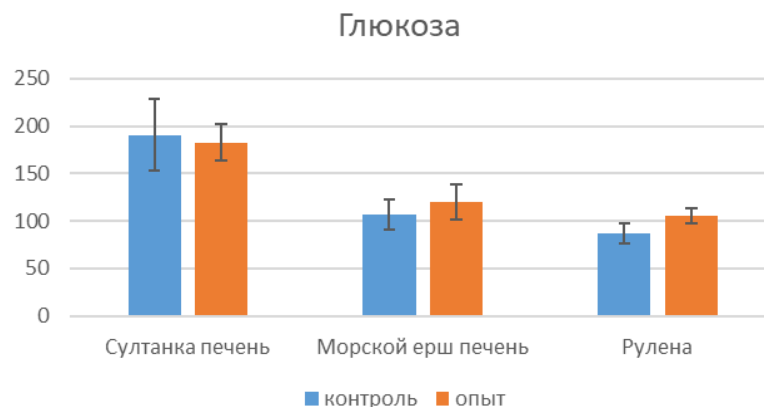


Рис. 3.7 – Глюкоза

Другим важнейшим показателем, отражающим работу нервной системы и белоксинтезирующую функцию печени при действии стресс факторов, является фермент ХЭ. В наших исследованиях активность ХЭ в опыте и контроле также не

отличалась, что может указывать на отсутствие влияния УЗУ на белоксинтезирующую функцию печени (рис. 3.8).

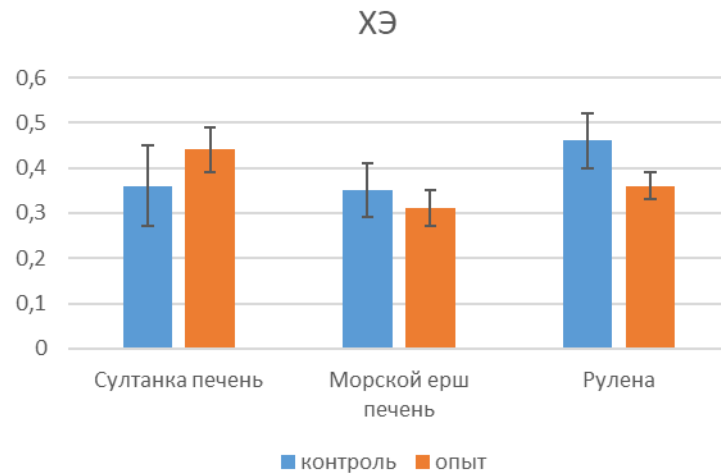


Рис. 3.8 – Холинэстераза

Таким образом, не установлено достоверных отличий в биохимических параметрах опытных и контрольных рыб.

Дальнейшие наши исследования будут нацелены на изучение влияния УЗУ на репродуктивные органы и функции рыб, что является необходимым этапом работ перед введением установки в эксплуатацию на АЭС.

ВЫВОДЫ

1. Выживаемость рыб под действием УЗУ во время эксперимента составила 100 %.

2. Анализ поведенческих реакций исследованных видов рыб под действием УЗУ позволил установить раздражающее и отпугивающее воздействие на рыб на небольшом расстоянии (10–30 см) от прибора. Наиболее выраженные поведенческие реакции были отмечены у султанки, ставриды, смариды, наименее выраженные – у скорпены.

3. Результаты биохимических исследований показали отсутствие достоверных различий между анализируемыми параметрами в тканях скорпены, султанки и рулены из опытного и контрольного садков.

4. Анализ поведенческих реакций и биохимических показателей рыб может свидетельствовать об отсутствии негативного влияния прибора мощностью 500 Вт, частотой 27 кГц, разработанного АО «ВНИИАЭС», на состояние здоровья рыб. В то же время для того, чтобы рекомендовать данную установку к использованию на АЭС, необходимы дальнейшие исследования по влиянию УЗУ на репродуктивные органы и функции рыб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк. 1990, 352 с.
2. Мороз Н. А. Методы борьбы с биообрастаниями на атомной электростанции // Проблемы создания защитных покрытий нового поколения от коррозии, биообрастания и обледенения для морских, береговых и сухопутных объектов / Под ред. М. И. Орловой, В. А. Родионова. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2021. С. 94–103. EDN РКООСР.
3. Неврова Е.Л. и др. Экспериментальное изучение воздействия ультразвука на микроперифитон искусственных субстратов с целью защиты от биопомех систем технического водоснабжения атомных электростанций // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. - 2023. - № 3. - С. 98-113.
4. Немова Н.Н., Мещерякова О.В., Лысенко Л.А., Фокина Н.Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу. Труды Карельского научного центра РАН, 2014, № 5, с. 18-29.
5. Abhinav, K.A. et al. Offshore multi-purpose platforms for a Blue Growth: a technological, environmental and socio-economic review // Sci. Total Environ. –2020. – V. 734. – 138256.
6. Chesnokova I.I., Sigacheva T.B., Skuratovskaya E.N. Comparative Analysis of Hepatic Biomarkers of Black Scorpionfish *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 from Sevastopol Water Areas (the Black Sea) with Different Pollution Levels // Water Resources, 2020, vol. 47, iss. 3, p. 486-490.
7. Didier T., Sylvain M., Damien B. Sublethal effect assessment of a low-power and dual-frequency anti-cyanobacterial ultrasound device on the common carp (*Cyprinus carpio*): a field study // Environ Sci Pollut Res. – 2017. – V. 24. – P. 5669–5678.
8. Knobloch S. et al. The effect of ultrasonic antifouling control on the growth and microbiota of farmed European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) // Marine Pollution Bulletin. – 2021.- V. 64. – 112072.
9. Legg M. et al. Acoustic methods for biofouling control: a review // Ocean Eng. - 2015. – V. 103. - 237–247.
10. Loxton J. et al. Setting an agenda for biofouling research for the marine renewable energy industry // Int. J. Mar. Energy. - 2017. – 19. – С. 292–303.
11. Sigacheva T., Skuratovskaya E. Application of biochemical and morphophysiological parameters of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) for assessment of marine ecological state // Environmental Science and Pollution Research. 2022.
12. Soroldoni S. et al. S. Antifouling paint particles cause toxicity to benthic organisms: effects on two species with different feeding modes // Chemosphere. - 2020. – V. 238. –P. 124610.
13. Techer D., Milla S., Banas D. Sublethal effect assessment of a low-power and dual-frequency anti-cyanobacterial ultrasound device on the common carp

(*Cyprinus carpio*): a field study // *Environ. Sci. Pollut. Res.* - 2017. – V. 5669. – P. 5678.

14. Tian L. et al. Novel marine antifouling coatings inspired by corals // *Mater. Today Chem.* -2020. – 17. - 100294.