

*Tatiana Petrovna Khairulina*, Candidate of Biological Sciences, Faculty of Biotechnology and Fisheries, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management. E-mail: *tpkh82@yandex.ru*

*Irina Alekseyevna Glebova*, Candidate of Agricultural Sciences, Faculty of Biotechnology and Fisheries, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management. E-mail: *zolotoirina2013@ya.ru*

*Nadezhda Mikhailovna Lyubovskaya*, PhD student of the Faculty of Biotechnology and Fisheries, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management.

*В.Л. Белов, Л.Л. Брежнев, О.Ю. Лебедев, А.В. Горбунов*  
*V.L. Belov, L.L. Brezhnev, O.Yu. Lebedev, A.V. Gorbunov*

**МОНИТОРИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ В РЫБОВОДНОЙ УЗВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И УЛЬТРАФИО-ЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОДОПОДГОТОВКЕ**  
**MONITORING CONTROL OF SOME PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF THE AQUATIC ENVIRONMENT IN FISH-BREEDING ULTRASOUND WITH THE USE OF HYBRID TECHNOLOGY OF ULTRASONIC AND ULTRAVIOLET RADIATION IN WATER TREATMENT**

*Аннотация:*

Посредством мониторинга исследовались показатели ОВП, TDS, УЭП технологической водной среды аквакультуры на модельных растворах для форели и стерляди в рыбоводной УЗВ при применении устройства УФУЗ (ультрафиолетового (УФ) и ультразвукового (УЗ) излучения) в системе водоподготовки на различных точках подключения. Выявлена сопоставимость нормативно приемлемых результатов по показателям TDS и УЭП, с флюктуациями до 25 % и 65 % соответственно, при значительных расхождениях от двух до четырех раз показателя ОВП, нормативные значения благоприятные для аквакультуры получены только по холодноводной линии. Установлено, что ОВП является наиболее представительным аналит-маркером, показывающим медико-биологическую активность вод аквакультуры и здоровья рыб. Возможно предположить, что использование показателей TDS и УЭП наиболее актуально в качестве аналит-маркеров для открытых рыбоводных водоемов различных категорий соответственно. Исследования выполнялись на УНУ МГУТУ (рег. № 3662433).

*Ключевые слова:* аквакультура, УФ, УЗ, УЗВ, аналит-маркер, ОВП, TDS, УЭП.

Аквакультура сегодня играет значимую роль в обеспечении продовольственной безопасности России<sup>19</sup>. Но интенсивное развитие ак-

<sup>19</sup> *Гончаров Ю.В., Безбородов А.С.* Местный морской рыбный промысел как элемент продовольственной безопасности Ненецкого автономного округа // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики. Сб. науч. материалов Всероссийской конференции, посвященной 90-летию со дня рождения акад. Н.П. Лавёрова / Отв. ред. *А.О. Глико, А.А. Барях, К.В. Лобанов, И.Н. Болотов.* Архангельск, 2020. С. 1060–1064.

вакультурных хозяйств приводит к увеличению органических отходов в водоемах, что может оказывать негативное влияние на окружающую среду путем их эвтрофикации и приводить в перспективе к деградации и истощению биологических ресурсов.

В условиях загрязненной окружающей среды перспективным направлением современной аквакультуры и драйвером ее технологического развития видится использование установок замкнутого водоснабжения (УЗВ)<sup>20</sup>, в которых производится культивирование гидробионтов в контролируемых условиях водной среды<sup>21</sup>. Эффективность применения таких УЗВ зависит от эксплуатационных затрат, количества и качества готовой рыбопродукции. Важным технологическим параметром рыбоводных УЗВ является качество водной среды по физико-химическим показателям, которые характеризуют минеральный состав, наличие тех или иных химических элементов и органических загрязнителей<sup>22</sup>.

По индустриальной аквакультуре на основе УЗВ постоянно ведутся исследования в области методов очистки воды, среди которых можно выделить: системы с совмещением УФ и озонирования<sup>23</sup>, применение различных сорбентов и различные окислительные процессы<sup>24, 25</sup>. Низкая степень внедрения данных технологий в промышленную аквакультуру объясняется практическим отсутствием адаптированных под применение в аквакультуре установок, технико-экономическими параметрами, а также возможностью образования при их работе побочных продуктов<sup>26, 27</sup>. Кавитационные ультразвуковые системы при этом

<sup>20</sup> Горбунов А.В., Никифоров-Никишин Д.Л., Калита Т.Л., Пономарев А.К. Технологии органической аквакультуры: Учебник для вузов / Под ред. С.В. Пономарева. М.: «Наука», 2022. 431 с.

<sup>21</sup> Bregnballe J. A Guide to Recirculation Aquaculture. Food Agric. Organ. United Nations Eurofish. 2015. 100.

<sup>22</sup> Hirayama K., Mizuma H., Mizue Y. The accumulation of dissolved organic substances in closed recirculation culture systems // Aquacult. Eng. 1988. №7. P. 73–87.

<sup>23</sup> Губейдуллин Х.Х., Шуганов И.И., Кологреев В.А., Чумакова Н.В. Очистка сточных вод ультрафиолетом и ультразвуком в животноводческих комплексах // Аграрная наука. 2012. № 11. С. 31–31.

<sup>24</sup> Tan W.K., Cheah S.C., Parthasarathy S., Rajesh R.P., Pang C.H., Manickam S. Fish pond water treatment using ultrasonic cavitation and advanced oxidation processes // Chemosphere. 2021. 274, 129702.

<sup>25</sup> Pushpalatha M., Krishna B.M. Electro-Fenton Process for Waste Water Treatment // A Review. International Journal of Advance Research Ideas and Innovations in Technology. 2017. № 3 (1). P. 439–451.

<sup>26</sup> Pauly D., Palomares M.L. Fishing down marine food web: It is far more pervasive than we thought // Bulletin of Marine Science. 2005. № 76. P. 197–211.

<sup>27</sup> Della Rocca C., Belgiorio V., Meriç S. Cotton-supported heterotrophic denitrification of nitrate-rich drinking water with a sand filtration post-treatment // Water

выступают на текущий момент безопасным и неселективным методом деструкции органических поллютантов<sup>28</sup>.

Целью данного исследования является мониторинг некоторых физико-химических параметров технологической водной среды холодной и тепловодной товарной аквакультуры в УЗВ при применении в системе водоподготовки установки гибридной технологии ультразвукового и ультрафиолетового облучения на различных точках подключения, по показателям: окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), общая минерализация воды (TDS), удельная электропроводность воды (УЭП). Запланированные места экспериментального подключения УФУЗ: Т1 — до биофильтра, Т2 — вместо штатной обеззараживающей системы УЗВ, Т3 — перед подачей очищенной возвратной воды в рыбоводный модуль УЗВ.

Экспериментальная корпусная напорная установка УФУЗ выполнена заводом-изготовителем ООО «Александра-Плюс» (РФ, г. Вологда). Камера обеззараживания закреплена на специализированной подставке со шкафом управления модели HO-712.80.00 (Рис. 1). В исследовании применялась установка УФУЗ модификации УОВ-ПВ-15 в горизонтальном исполнении ECO-2A610H40US, предназначенная для эксплуатации при относительной температуре окружающего воздуха от 4 °С до 40 °С и влажности воздуха не более 85 % при 25 °С. УФУЗ, используемая в эксперименте, имела следующую комплектацию: универсальная монтажная стойка для крепления камеры и шкафа управления; камера обеззараживания (фотохимический реактор), состоящая из корпуса, изготовленного из нержавеющей стали объемом 26 л; ультразвуковой деструктор (кавитатор), состоящий из трех пьезокерамических излучателей с возможностью их включения независимо друг от друга; патрубки для отбора проб до и после использования установки; смотровое окно для контроля свечения ламп; сменная УФ-лампа; кварцевые чехлы; шкаф управления УФУЗ (Рис. 1). Экспериментальная установка имеет следующие характеристики: эффективная доза 25 мДж/см<sup>2</sup>, мощность ультразвукового кавитатора — 0,15 кВт; частота ультразвуковых колебаний 25 кГц; коэффициент мощности установки cosφ — 0,96, две амальгамные УФ-лампы низкого давления типа SE32610 мощностью 610 Вт каждая.

Схема исследования. УФУЗ встраивалась поочередно для каждой линии в состав системы водоподготовки испытательного стен-

Sa. 2005. № 31 (2). P. 229–236.

<sup>28</sup> Amabilis-Sosa L.E., Vázquez-López M., Rojas J.L.G., Roé-Sosa A., Moeller-Chávez G.E. Efficient bacteria inactivation by ultrasound in municipal wastewater // Environments. 2018. № 5 (4). P. 47.

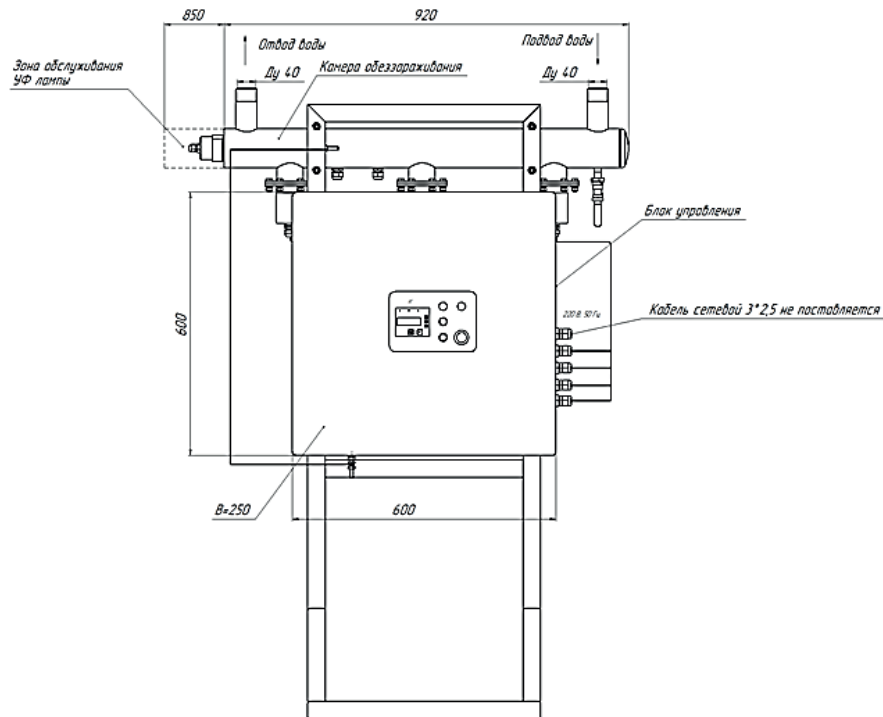


Рис. 1. Схематичный вид установки УФУЗ модели УОВ-ПВ-15 на стойке, с блоком управления.

да УЗВ объемом 8000 л, оснащенного системами механической и биологической очистки, в запланированные точки подключения (Рис. 2): Т1 — до биофильтра, Т2 — вместо штатной обеззараживающей системы УЗВ, Т3 — перед подачей очищенной возвратной воды в рыбоводный модуль УЗВ. В рыбоводном модуле (Рис. 3) были поочередно организованы две испытательные линии с типовыми видовыми представителями: холодноводная аквакультура — лососевые (форель, *Oncorhynchus mykiss*) общей расчетной биомассой 40 кг, средняя масса рыб составляла  $900 \text{ г} \pm 15 \%$ ; тепловодная аквакультура, по карповым — осетровые (стерлядь, *Acipenser ruthenus*) общей расчетной биомассой 53 кг, средняя масса рыб составляла  $900 \text{ г} \pm 15 \%$ . В течение всего эксперимента осуществлялось кормление рыбы продукционным гранулированным кормом 4 мм (AQUAREX, РФ, г. Тверь) для лососевых и осетровых видов соответственно (кормовой коэффициент 1,0), по рыбоводным нормативам. Объем пропускаемой воды на период эксперимента составлял 8 тыс. л/ч, с подменой воды на 5—7 %. Перед началом опыта проводилась адаптация объекта выращивания к условиям содержания. Параметры

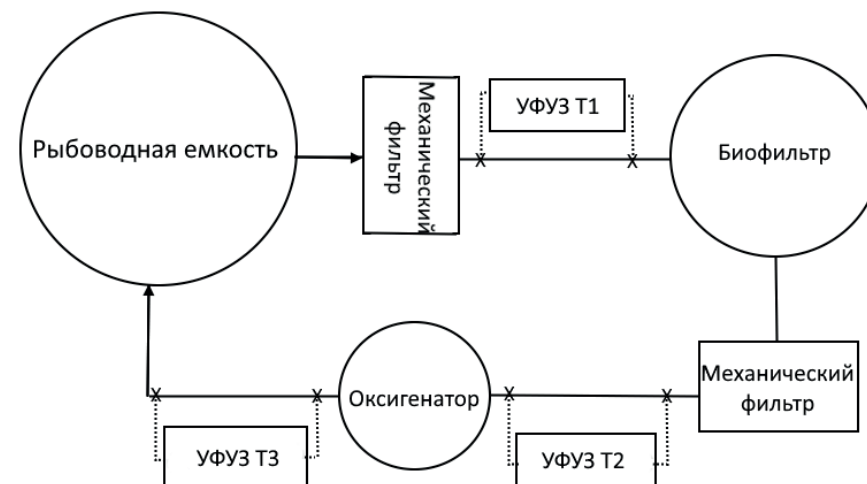


Рис. 2. Схематическое изображение точек подключения испытательного устройства в системе водоподготовки рыбоводного модуля.

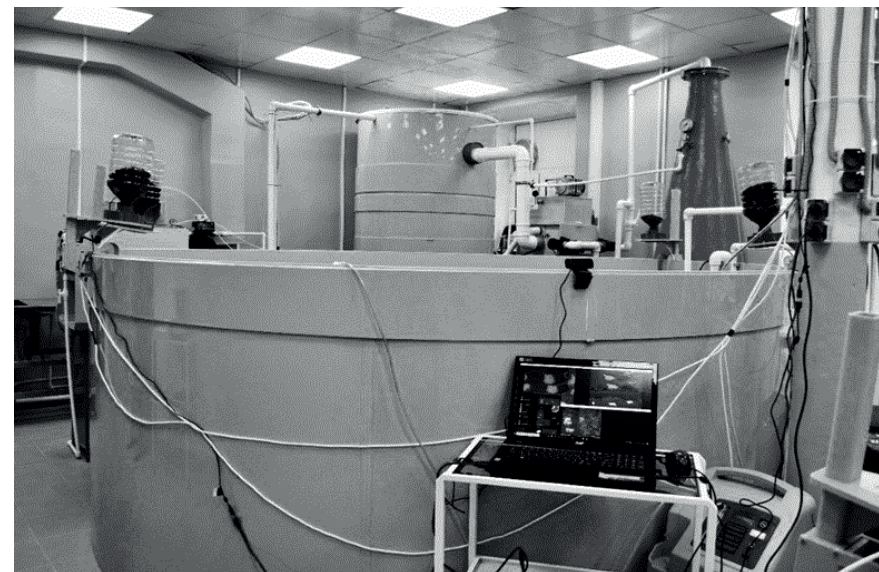


Рис. 3. Рыбоводный модуль испытательного станда УЗВ на 8 куб. м, водоподготовка в котором производилась с применением экспериментальной установки УФУЗ.

воды модельного раствора в рыбоводных емкостях обеспечивались: по 1-й линии (форель) — рН (7,0—8,0), О<sub>2</sub> (мг/л: 7,0—9,5), температура воды (15 °С ± 0,5); для 2-й линии (стерлядь) — рН (6,5—8,5), О<sub>2</sub> (мг/л: 5,5—8,0); температура воды (25 °С ± 0,5). По ходу каждого опыта на каждой точке подключения в каждой линии проводился мониторинг исследуемых показателей.

Проведенные исследования, кроме программных мероприятий, включали режимы создания и восстановления модельных растворов по каждой линии, т. е. без работы экспериментального устройства УФУЗ (контроль) со штатной системой водоподготовки стенда. Определение мониторинговых программных показателей производилось через равные промежутки времени работы в соответствии с графиком эксперимента. Продолжительность времени работы УФУЗ на каждой точке включения составляла трое суток в каждой линии. Между испытаниями различных режимов работы установки проводилась нормализация модельного раствора аквакультуры к исходным параметрам воды в линии. Длительность временных промежутков была выбрана исходя из литературных данных о том, что уже краткосрочное использование УЗ приводит к изменению гидрохимических параметров среды<sup>29</sup>.

*Измерение показателей ОВП, TDS, УЭП.* Отбор проб воды производился из рыбоводного модуля испытательного стенда после поступления в него воды при работе УФУЗ в каждой точке включения в течение трех суток. Пробы отбирались в стеклянные склянки объемом 500 мл для одной точки отбора и плотно закрывались резиновой пробкой согласно методам. Определение показателей ОВП, TDS, УЭП производилось непосредственно после отбора проб по технической документации: общая минерализация (TDS) (ПНД.Ф.14.1:2:4–261–2010), ОВП (ORP. Измеритель ОВП. Инструкция по эксплуатации), УЭП (Н1 2300. Лабораторный кондуктометр-солемер. Руководство по эксплуатации).

Статистические данные обрабатывались с помощью программы MS Excel (значение  $p < 0,05$  принималось как статистически значимое).

Мониторинг показателей ОВП, TDS, УЭП по ходу эксперимента в экспериментальном бассейне на обеих линиях при различных точках подключения экспериментального УФУЗ показал следующие результаты (Табл. 1).

Анализ результатов мониторинга по точкам подключения (Рис. 4) показал:

<sup>29</sup> Wang S., Wu X., Wang Y., Li Q., Tao M. Removal of organic matter and ammonia nitrogen from landfill leachate by ultrasound // Ultrasonics sonochemistry. 2008. № 15 (6). P. 933–937.

Показатель УЭП находился примерно на одном уровне на точках Т1 и Т3 и на 4 % больше на Т2 — в тепловодной линии; на холодноводной же УЭП был примерно одинаков на Т3 и Т2 и на 8 % ниже на Т1 — данный показатель можно принять за лучший.

Табл. 1. Результаты мониторинга технологических вод аквакультуры на испытательном стенде УЗВ в соответствии с программой эксперимента.

Тип линии	Параметр	Т1	Т2	Т3	Ед. изм.	Контроль
холодноводная	TDS	282	349	308	мг/дм <sup>3</sup>	< 400*
тепловодная	TDS-т	308	319	304		
холодноводная	ОВП	87	223	222	мВ	150–250**
тепловодная	ОВП-т	82	51	105		
холодноводная	УЭП	465	511	509	мкСм/см	50–1500***
тепловодная	УЭП-т	508	526	502		

Показатель TDS находился примерно на одном уровне на точках Т1 и Т3 и на 5 % больше на Т2 — в тепловодной линии; на холодноводной же TDS имел разные значения на всех трех точках подключения с различием на 11–13 % и наименьшим результатом на Т1 — данный показатель можно принять за лучший.

Показатель ОВП находился на недопустимо низком для гидробионтов уровне на всех трех точках — в тепловодной линии; на холодноводной же ОВП был примерно равным и нормативно приемлемым для гидробионтов в точках Т2 и Т3, а на Т1 данный показатель оказался недопустимо низким для жизнедеятельности гидробионтов.

Таким образом, точка подключения УФУЗ Т1 продемонстрировала лучшие результаты показателей TDS и УЭП по холодноводной линии и приемлемые результаты в тепловодной, однако показала значения параметра ОВП воды опасные для жизнедеятельности рыб в обеих линиях. Точка подключения УФУЗ Т2 продемонстрировала приемлемые результаты показателей TDS и УЭП по холодно- и тепловодной линиям, однако показала и самое низкое значение параметра ОВП воды, опасное для жизнедеятельности рыб в тепловодной линии, и нормативно хорошее значение в холодноводной линии. Точка подключения УФУЗ Т3 продемонстрировала приемлемые результаты показателей TDS и УЭП по обеим линиям и низкое значение параметра ОВП воды, опасное для жизнедеятельности рыб в тепловодной линии, и нормативно хорошее значение в холодноводной линии.

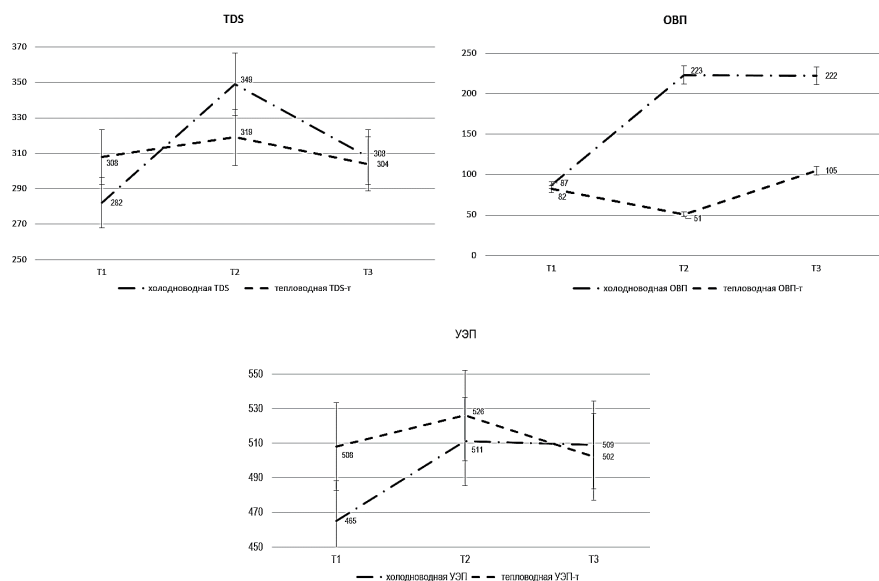


Рис. 4. Графики мониторинга химико-физических параметров водной среды в аквакультуре УЗВ по точкам подключения УФУЗ.

Анализ динамики исследуемых показателей при мониторинге программных аналит-маркеров в точках подключения к системе водоподготовки УЗВ стенда по обеим линиям аквакультуры, представленный ниже (Рис. 5), свидетельствует о сопоставимых нормативно приемлемых результатах по показателям TDS и УЭП, с флюктуациями до 25 % и 65 % соответственно, при значительных расхождениях от двух до четырех раз показателя ОВП, который демонстрирует нормативные значения, благоприятные для аквакультуры, только по холодноводной линии в T2 и T3.

Программные показатели исследуемых аналит-маркеров эксперимента в экспериментальных модельных растворах по холоднo- и тепловодной линиям в 1,0 ед. расчетной биологической нагрузки связаны с работой штатной системы обеззараживания оборотных вод рыбоводной УЗВ стенда, месторасположение которой совпадает с T2, и усредненно представлены значениями: TDS/TDS-т — 293,7/315,3 мг/дм³; УЭП/УЭП-т — 484,3/520,7 мкСм/см; ОВП/ОВП-т — 159,7/71,7 мВ.

В целях контроля качества водной среды при проведении НИ-ОКТР по созданию новых технологий в аквакультуре в порядке предварительного контроля возможных негативных воздействий создаваемого устройства и для выявления возможных антропогенных процессов деградации экосистем водных объектов в оборотных водах аквакультуры

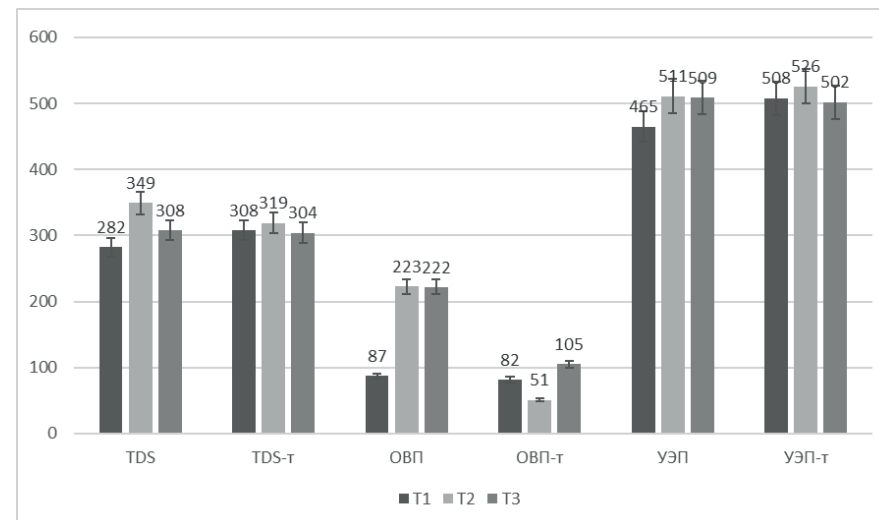


Рис. 5. Сравнительные параметры водной среды в рыбоводной УЗВ в точках подключения УФУЗ для холоднo- и тепловодной аквакультуры с доверительными интервалами ( $p \leq 0,05$ ); индекс «-т» указывает на линию T2 тепловодной аквакультуры.

туры по ГОСТ Р 58556–2019 целесообразно осуществлять скрининговый контроль (мониторинг) специализированных экологических факторов водной среды, которая может характеризоваться как типовыми рыбоводными (температура, прозрачность, биогенные и органические вещества, растворенные газы, загрязняющие вещества), так и специализированными интегральными физико-химическими показателями (аналит-маркерами) экологического качества вод<sup>30</sup>: электрическая проводимость (УЭП), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП, Eh), солесодержание (TDS, мг-экв/л). По показателю ОВП, например, можно судить о процессе накопления биогенов в водоемах в результате нарушения баланса водной системы, биоактивности водной среды и даже начальной фазы образования активного ила, что особенно важно для гидроэкологии естественных и иных открытых рыбоводных водоемов<sup>31</sup>.

Поскольку аквакультура связана с интенсивным применением комбикормов и, в нашем случае, ультразвука в устройстве УФУЗ в индустрии

<sup>30</sup> ГОСТ Р 58556–2019. Оценка классов качества поверхностных водных объектов с экологических позиций.

<sup>31</sup> РД 34.37.302. Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций.

стриальном режиме, то, имея в виду особенности молекулярной структуры воды и ее способность к образованию гидрокомплексов, растворов неорганических и органических электролитов, активных радикалов и формированию антропогенного активного ила от солеобразования, а также руководствуясь ОС. 155.372–87 (п. 1), в качестве экомаркеров (аналит-маркеры по ГОСТ Р 58556–2019), способных охарактеризовать экоблагополучие водного объекта до испытаний опытного образца УФУЗ на предприятии аквакультуры по ПГ, целесообразно осуществлять скрининговый мониторинг по следующим исследуемым параметрам<sup>32</sup>.

Контроль окислительно-восстановительного потенциала (ОВП, Eh — редокс-потенциал) как меры химической активности элементов или их соединений в гидрохимических процессах. В условиях равновесия это значение характеризует среду сразу относительно всех элементов, имеющих переменную степень окисления, и позволяет выявить природные среды, в которых возможно существование химических элементов с переменной степенью окисления. В природной воде значение Eh колеблется от -400 до +700 мВ. Поверхностные и грунтовые воды, содержащие свободный кислород, характеризуются более узким интервалом Eh от +150 до +700 мВ<sup>33</sup>. ОВП считается сегодня важным показателем медико-биологической активности воды, при этом в отношении выращивания гидробионтов в настоящее время следует ориентироваться на имеющиеся в литературе показатели и характеристики ОВП<sup>34</sup>.

Контроль — в качестве риск-факторов для культивируемой рыбной продукции ОС. 155.372–87 (п. 1) — общей количественной характеристики возникновения растворов оснований, щелочей, солей в водах аквакультуры по ее удельной электропроводности (УЭП). Электропроводность воды зависит от количества растворенных в ней солей, кислот и оснований, т. е. от количества ионов: чем выше концентрация ионов, тем больше электропроводность воды, обусловленной гидролизом и конверсией применяемых комбикормов в ОС<sup>35</sup>. Следует проводить также оценку условий возможной миграции солей (для пресных водоемов УЭП составляет от 50 до  $1500 \cdot 10^{-6}$  См/м). Так, например, увеличе-

ние электропроводности воды, по сравнению с исходной жесткой водой, для карбонатно-кальциевых вод, происходит прежде всего за счет присутствия в воде кальция, магния, сульфатов и величины общего солевого содержания воды<sup>36</sup>.

Контроль жесткости воды (по ОС. 155.372–87, п. 4.7), свидетельствующий об уровне минерализации воды (т. е. наличии в водном растворе твердых веществ или, иначе, сухого остатка), — не менее  $5 \times 10^{-3}$  моль/м<sup>3</sup> (2,5 мг-экв/л, 3 °Ж) или, оценочно, по показателю общего солеобразования TDS (ppm, мг/л, мг/дм<sup>3</sup>). TDS широко используется в гидропонике и аквакультуре для оценки количества солей в воде, оценки ее питательной ценности и может свидетельствовать об изменении в воде электролитов: чем их больше, тем выше значение TDS. Оптимальный показатель TDS природных вод — 400 ppm, что соответствует 8 °Ж; предельно допустимый показатель — 10 °Ж, соответствующий 500 ppm.

Для полноценного внедрения экспериментальной установки УФУЗ в практику индустриальной аквакультуры необходимо проведение дополнительных предметных исследований, направленных на оценку воздействия применяемых в устройстве технологий на физико-химические параметры воды<sup>37</sup> с учетом типа аквакультуры. Помимо этого, необходимо подробное изучение эффективности отдельных режимов работы устройства в увязке с их длительностью (например, периодическим импульсным режимом функционирования УЗ) или интенсивностью рабочих параметров устройства, в зависимости от абиотических факторов среды, таких как соляризация водоема, температура воды, жесткость.

*Выводы.* Проведенный скрининговый мониторинг физико-химических параметров технологической водной среды холодной и тепловодной товарной аквакультуры в УЗВ, с применением в системе водоподготовки установки гибридной технологии ультрафиолетового и ультразвукового излучения (УФУЗ), на точках подключения в системе водоподготовки стенда рыбоводной УЗВ: Т1 — до биофильтра, Т2 — вместо штатной обеззараживающей системы УЗВ, Т3 — перед подачей очищенной возвратной воды в рыбоводный модуль УЗВ, по показателям, выступающим в качестве аналит-маркеров экологического состояния рыбоводной среды (окислительно-восстановительный потенциал

<sup>32</sup> Орлова Т.Н., Базлов Д.А., Орлов В.Ю. Химия природных и промышленных вод: Учебное пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2013. 120 с.

<sup>33</sup> Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб: Гидрометеиздат, 2001. 444 с.

<sup>34</sup> Сандлер М. Техническое оснащение аквариума / Пер. с нем. М.: «АСТ», 2004. 256 с.

<sup>35</sup> Никифоров-Никишин А.Л., Горбунов А.В., Никифоров-Никишин Д.Л., Бычкова Л.И. Кормовая база, корма и кормление рыб: Учебное пособие для бакалавров. М.: МГУТУ, 2019. 191 с.

<sup>36</sup> РД 34.37.302. Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций.

<sup>37</sup> Nam-Koong H., Schroeder J.P., Petrick G., Schulz C. Preliminary test of ultrasonically disinfection efficacy towards selected aquaculture pathogens // Aquaculture. 2020. 515, 734592.

(ОВП), общая минерализация воды (TDS), удельная электропроводность воды (УЭП)), позволяет сделать следующие выводы и предположения:

1. Оптимальной точкой подключения УФУЗ в систему УЗВ является точка ТЗ — перед подачей очищенной возвратной воды в рыбоводный модуль; все зафиксированные значения мониторинговых аналит-маркеров находятся в пределах безопасных для жизнедеятельности рыб показателей.

Проведенный мониторинг показал, что наилучшие возможности применения УФУЗ по улучшению качества технологической водной среды продемонстрированы для холодноводной аквакультуры (линия 1), с температурой воды модельного раствора 15 °С, в то время как воды тепловодной аквакультуры (линия 2) не позволили достичь приемлемых показателей, особенно по ОВП, который оставался в диапазоне слабо-окислительной среды, характеризующейся как плохая вода и угроза для жизни гидробионтов. Для тепловодной аквакультуры, очевидно, требуются дополнительные предметные исследования по технологии УФУЗ-режимов, мощностей применения УФ и УЗ в зависимости от абиотических факторов рыбоводного водоема.

2. Очевидно, что ОВП (редокс-потенциал) — наиболее важный (представительный) аналит-маркер, показывающий медико-биологическую активность вод аквакультуры и здоровья рыб, выступающий как мера химической активности элементов или их соединений в гидрохимических процессах, особенно при индустриальном кормлении рыб. ОВП характеризует технологическую водную среду сразу относительно всех элементов, имеющих переменную степень окисления, т. е. является своего рода интегрированным аналит-маркером для показателей TDS и УЭП, находясь в определенной зависимости.
3. Примененные в данном исследовании для целей мониторинга аналит-маркеры TDS и УЭП в системах УЗВ предположительно малоактуальны, поскольку интенсивное применение комбикормов не предполагает преобразование и накопление их остатков в виде солейобразований, гидрокомплексов растворов неорганических и органических электролитов, оснований, а также не предполагает образование активных радикалов при формировании антропогенного активного ила в рыбоводных емкостях УЗВ. Другое дело, водные экосистемы различной этиологии, применяемые для целей аквакультуры, где илообразование является типичным явлением,

и в этом случае представляется, что: TDS будет являться значимым аналит-маркером для водоемов рыбохозяйственного назначения высшей и 1-й категории; УЭП видится значимым аналит-маркером для водоемов 2-й категории, прочих поверхностных и сточных вод с повышенной антропогенной нагрузкой, когда возможно образование неорганических солей, щелочей, свободных радикалов и тому подобных компонентов в составе гидрокомплексов.

\*\*\*

Исследование производилось на базе уникальной научной установки (УНУ) НТИРФ (рег. № 3662433) «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства МГУТУ им. Разумовского.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства № 075-11-2022-004 от 6 апреля 2022 г. ).

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 58556–2019. Оценка классов качества поверхностных водных объектов с экологических позиций.
2. ОС. 15.372–87. Охрана природы. Гидросфера. Вода для рыбоводных хозяйств.
3. РД 34.37.302. Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций.
4. Гончаров Ю.В., Безбородов А.С. Местный морской рыбный промысел как элемент продовольственной безопасности Ненецкого автономного округа // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики. Сб. науч. материалов Всероссийской конференции, посвященной 90-летию со дня рождения акад. Н.П. Лавёрова / Отв. ред. А.О. Глико, А.А. Барях, К.В. Лобанов, И.Н. Болотов. Архангельск, 2020. С. 1060–1064.
5. Горбунов А.В., Никифоров-Никишин Д.Л., Калита Т.Л., Пономарев А.К. Технологии органической аквакультуры: Учебник для вузов / Под ред. С.В. Пономарева. М.: «Наука», 2022. 431 с.
6. Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И., Кологреев В.А., Чумакова Н.В. Очистка сточных вод ультрафиолетом и ультразвуком в животноводческих комплексах // Аграрная наука. 2012. № 11. С. 31–31.

7. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 444 с.
8. Никифоров-Никишин А.Л., Горбунов А.В., Никифоров-Никишин Д.Л., Бычкова Л.И. Кормовая база, корма и кормление рыб: Учебное пособие для бакалавров. М.: МГУТУ, 2019. 191 с.
9. Орлова Т.Н., Базлов Д.А., Орлов В.Ю. Химия природных и промышленных вод: Учебное пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2013. 120 с.
10. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии: Учебник для студентов высших учебных заведений. Киев: «Генеза», 2004. 664 с.
11. Сандлер М. Техническое оснащение аквариума / Пер. с нем. М.: «АСТ», 2004. 256 с.
12. Amabilis-Sosa L.E., Vázquez-López M., Rojas J.L.G., Roé-Sosa A., Moeller-Chávez G.E. Efficient bacteria inactivation by ultrasound in municipal wastewater // *Environments*. 2018. № 5 (4). P. 47.
13. Bregnballe J. A Guide to Recirculation Aquaculture. Food Agric. Organ. United Nations Eurofish. 2015. 100.
14. Della Rocca C., Belgiorio V., Meriç S. Cotton-supported heterotrophic denitrification of nitrate-rich drinking water with a sand filtration post-treatment // *Water Sa*. 2005. № 31 (2). P. 229–236.
15. Hirayama K., Mizuma H., Mizue Y. The accumulation of dissolved organic substances in closed recirculation culture systems // *Aquacult. Eng*. 1988. № 7. P. 73–87.
16. Nam-Koong H., Schroeder J.P., Petrick G., Schulz C. Preliminary test of ultrasonically disinfection efficacy towards selected aquaculture pathogens // *Aquaculture*. 2020. 515, 734592.
17. Pauly D., Palomares M.L. Fishing down marine food web: It is far more pervasive than we thought // *Bulletin of Marine Science*. 2005. № 76. P. 197–211.
18. Pushpalatha M., Krishna B.M. Electro-Fenton Process for Waste Water Treatment // A Review. *International Journal of Advance Research Ideas and Innovations in Technology*. 2017. № 3 (1). P. 439–451.
19. Tan W.K., Cheah S.C., Parthasarathy S., Rajesh R.P., Pang C.H., Manickam S. Fish pond water treatment using ultrasonic cavitation and advanced oxidation processes // *Chemosphere*. 2021. 274, 129702.
20. Wang S., Wu X., Wang Y., Li Q., Tao M. Removal of organic matter and ammonia nitrogen from landfill leachate by ultrasound // *Ultrasonics sonochemistry*. 2008. № 15 (6). P. 933–937.

#### Сведения об авторах

Белов Виктор Леонидович, аспирант, инженер-проектировщик НЭЦ «Зеленые акватехнологии», Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: [9150699@mail.ru](mailto:9150699@mail.ru)

Брежнев Леонид Леонидович, ведущий инженер Центра «Аквакультура» Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: [gost306@gmail.com](mailto:gost306@gmail.com)

Лебедев Олег Юрьевич, директор ООО «Александра Плюс» (разработчик). E-mail: [jktu@alexplus.ru](mailto:jktu@alexplus.ru)

Горбунов Александр Вячеславович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник НЭЦ «Зеленые акватехнологии», Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: [akvabiotex@rambler.ru](mailto:akvabiotex@rambler.ru)

#### Information about the authors

Belov Viktor Leonidovich, PhD student, design engineer of the NEC «Green Aquatechnologies», K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: [9150699@mail.ru](mailto:9150699@mail.ru)

Brezhnev Leonid Leonidovich, Leading engineer of the Center for «Aquaculture», K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: [gost306@gmail.com](mailto:gost306@gmail.com)

Lebedev Oleg Yurievich, Director of «Alexandra Plus LLC» (developer). E-mail: [jktu@alexplus.ru](mailto:jktu@alexplus.ru)

Gorbunov Alexander Vyacheslavovich, Candidate Biological Sciences, leading researcher of the NEC «Green aquatechnologies», K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: [akvabiotex@rambler.ru](mailto:akvabiotex@rambler.ru)