

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 1 / 2023, Vol. 15, Iss. 1 <https://esj.today/issue-1-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/87SAVN123.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Климов, В. А. Оценка влияния совместного действия ультрафиолетового и ультразвукового излучения на деструкцию растворенного органического вещества в установках замкнутого водоснабжения / В. А. Климов, В. А. Курочкина, Н. И. Кочетков, А. Л. Никифоров-Никишин, Н. М. Лебедев, О. Ю. Лебедев // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/87SAVN123.pdf>

For citation:

Klimov V.A., Kurochkina V.A., Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin A.L., Lebedev N.M., Lebedev O.Yu. Evaluation of the influence of the combined action of ultraviolet and ultrasonic radiation on the destruction of dissolved organic substance in installations of circulated water supply. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(1): 87SAVN123. Available at: <https://esj.today/PDF/87SAVN123.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

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.)

Климов Виктор Александрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени
К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Москва, Россия
E-mail: mirvar@rambler.ru

Курочкина Валентина Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
Доцент
E-mail: kurochkina@mgsu.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=657072

Кочетков Никита Ильич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени
К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Москва, Россия

Никифоров-Никишин Алексей Львович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени
К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Москва, Россия

Лебедев Николай Михайлович

ООО «Александра-Плюс», Вологда, Россия
E-mail: mail@alexplus.ru

Лебедев Олег Юрьевич

ООО «Александра-Плюс», Вологда, Россия
E-mail: mail@nt-eco.ru

Оценка влияния совместного действия ультрафиолетового и ультразвукового излучения на деструкцию растворенного органического вещества в установках замкнутого водоснабжения

Аннотация. В данной работе, с использованием экспериментальной установки, исследовалась эффективность ее работы в составе элементов фильтрации холодноводной установки замкнутого водоснабжения для содержания радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). В опыте исследовалось действие нескольких режимов работы установки с разным временем экспозиции на показатель биологического потребления кислорода (БПК₅).

Полученные в исследовании данные позволяют утверждать, что совместный режим работы с использованием ультрафиолета и ультразвука достоверно снижает количество органического вещества на 12 и 24 час работы ($p < 0.05$). Уровень снижения относительно контрольного режима работы составил 25,3 и 33,4 %, соответственно. Другие режимы работы (УФ, УЗ) приводили к снижению показателя БПК, достоверно не отличаясь от контроля. Максимальный режим работы установки позволяет использовать ее в составе УЗВ для выращивания холодноводных видов рыб. При этом увеличение мощности источника УФ и подбор частоты УЗ, вероятно, может значительно повысить ее эффективность.

Ключевые слова: аквакультура; установка замкнутого водоснабжения (УЗВ); ультрафиолетовое излучение; ультразвук; БПК

Введение

Аквакультура является одной из наиболее активно развивающихся отраслей сельского хозяйства¹. Интенсификация процесса выращивания гидробионтов требует совершенствования технологий культивации, а именно создание новых продукционных кормов и улучшения подходов к содержанию объектов выращивания [1]. Поддержания качества водной среды на высоком уровне, путем улучшения процедур водоподготовки и очистки воды, является одним из наиболее важных аспектов выращивания объектов аквакультуры. Увеличение плотности посадки, применение несбалансированных комбикормов и нарушения технологии культивации в рыбоводных прудах, садках и установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) может приводит к существенному ухудшению целого ряда гидрохимических показателей [2; 3]. Особенно критичным для гидробионтов в условиях УЗВ является накопление продуктов азотистого обмена и недоокисленного органического вещества.

Общепринятым показателем для оценки количества органического вещества в воде является показатель биологического потребления кислорода БПК₅, который отражает количество органического вещества, подвергающиеся биологическому окислению и выражается в мг кислорода на л [4]. В качестве альтернативы могут применяться такие показатели, как перманганатная окисляемость и ХПК. В состав растворных в воде органических компонентов могут входить белковые комплексы, дипептиды, свободные аминокислоты, а также комплексные органические соединения на основе гуминовых кислот, а также другие вещества [5]. Каждые из этих компонентов различается по скорости окисления и количеству образующихся метаболитов. Конечными продуктами биологической деструкций

¹ FAO. The State of the World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2020.

сложных органических соединений являются углекислый газ и различные неорганические вещества [6].

Утилизация продуктов распада органических веществ в УЗВ осуществляется в результате водообмена. Однако увеличения скорости водообмена приводит к увеличению себестоимости рыбной продукции [3], ухудшению работы биофильтра и не всегда целесообразна [7]. Альтернативным способом ускорения окисления органического вещества может являться использование специализированных окислительных процессов. К ним можно отнести: интенсивное обогащение воды кислородом с применением кислородных концентраторов, применение адсорбирующих компонентов и озонирование [8; 9]. Кроме этого, для деструкции органических компонентов возможно использование различных физических воздействия, таких как ультрафиолетовое излучение (УФ) разной длины волны и ультразвуковые волны (УЗ) различной мощности и частотного диапазона [10; 11].

УФ стерилизатор является одним из стандартных элементов фильтрации УЗВ, основная функция которого снижение микробиологической обсемененности и профилактика возможных бактериальных и паразитарных инфекций. Источники УФ излучения могут иметь различную конструкцию, мощность и включать в свой состав дополнительные функциональные элементы (озонаторы, кавитаторы).

УЗ реакторы широко используются при очистке сточных вод, где они показали свою эффективность в инаktivации микроорганизмов и ряда многоклеточных, а также окислении ряда загрязняющих веществ [12; 13].

Применение УЗ установок в аквакультуре ограничено из-за отсутствия подходящих технологических решений конструкции реакторов и рабочих диапазонов частот, а также высокого потребления энергии [14]. В проведенных ранее исследованиях было показано, что сонохимические и физические процессы, индуцируемые кавитацией, приводят к изменению состава микробиома водной среды и гидробионтов [15; 16], а также биофлексы элементов фильтрации [17]. Это дает возможность предположить, что при подборе необходимой конструкции и режимов работы УЗ реакторы, при совмещении с УФ излучателями могут найти применение в практике промышленной аквакультуры.

Целью данного исследования было изучить совместное воздействие УФ и УЗ излучения в составе специализированной установки в условиях холодноводного УЗВ при выращивании форели.

Материалы и методы

Установка УФУЗ напорного типа выполнена предприятием-изготовителем ООО «Александра-плюс» (РФ, г. Вологда), с возможностью крепления на независимой стойке со шкафом управления (рис. 1). В исследовании применялась модель УОВ-ПВ-5 в исполнении ЕСО-1А105Н40US, предназначенная для относительной эксплуатации при температуре окружающего воздуха от +4°C до +40°C и влажности воздуха не более 85 % при 25°C. УФУЗ, используемая в эксперименте, имела следующую комплектацию: универсальная монтажная стойка, камера обеззараживания (фотохимический реактор), ультразвуковой излучатель (кавитатор), патрубок для слива воды с краном, защитный кожух с окном для контроля свечения лампы, сменная УФ-лампа, кварцевый чехол, блок управления.

Экспериментальная установка имеет следующие характеристики: эффективная доза 25 мДж/см²; мощность ультразвукового кавитатора УЗ 200 Вт; частота ультразвуковых колебаний 25 кГц; УФ лампа амальгамная безозонового исполнения мощностью 65 Вт. Установка располагалась после выхода из биофильтра.

Экспериментальная установка входила в состав УЗВ объемом 7000 л, с системами механической и биологической очистки и подменой 10 % воды, в которых содержались особи радужной форели (рис. 2), (*Oncorhynchus mykiss*) общей биомассой 30,5 кг, средняя масса рыб составляла $476,6 \pm 14,1$ граммов.

Во время эксперимента кормление рыбы осуществлялось производственным гранулированным кормом 6 мм (AQUAREX, РФ, г. Тверь), в соответствии с рыбоводными нормативами (норма кормления 2,33 %, суточная норма 700 г). Объем пропускаемой воды на период эксперимента, составлял 4 тыс. л/ч. Перед началом опыта проводилась адаптация объекта выращивания к условиям содержания. Температура воды в рыбоводных емкостях составила $16,36 \pm 0,71^\circ\text{C}$, водородный показатель — $\text{pH } 7,8 \pm 0,2$. Содержание кислорода не опускалось ниже 8 мг/л (в среднем $8,4 \pm 0,4$ мг/л).

Эксперимент включал следующие режимы работы системы очистки: без воздействия УЗ и УФ (Контроль); группа с использованием источника УФ излучения (УФ); группа, включающая совместное воздействие УФ и УЗ (УФУЗ). Определение БКП₅ производилось через определенные промежутки времени работы установки в определенном режиме: 1 час (Т1), 6 часов (Т6), 12 часов (Т12) и 24 часа (Т24). Продолжительность опыта для каждого режима работы составляла 3 суток, общая продолжительность 12 суток. При этом двое суток отводилось для нормализации гидрохимических параметров воды.

Отбор проб воды производился на выходе из экспериментальной установки УФУЗ, для чего в ее конструкции предусмотрен специальный клапан (рис. 1). Отбор проб воды производился в стеклянные склянки объемом 500 мл по 4 емкости для одной точки отбора и плотно закрывались резиновой пробкой согласно регламентированным методикам².

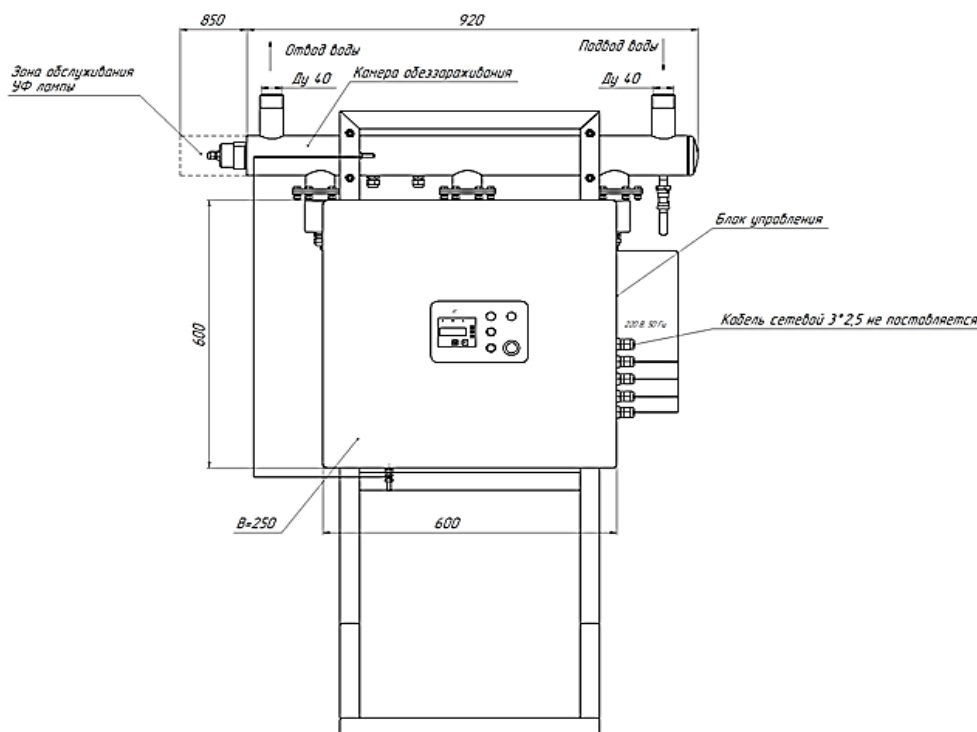


Рисунок 1. Общий вид установка обеззараживания воды УФУЗ модели УОВ-ПВ-1

² ПНД Ф14.1:2:3:4.123-97 (Методика выполнения измерений биохимического потребления кислорода после n — дней инкубации (БКП_{полн}) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах) [Электронный ресурс]: — Электронные данные. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100178> (дата посещения 18.01.2023).



Рисунок 2. Установка замкнутого водоснабжения (в составе элементов фильтрации которой входила экспериментальная установка)

Определение первоначальной концентрации кислорода и концентрации после инкубации производилось с использованием оксиметра Эксперт-001 (ООО "Эконикс-Эксперт", г. Москва). Три инкубационные склянки располагались в темное в течение 5 суток, после чего в них производилось определение концентрации кислорода.

Данные, по сравнению концентрации растворенного кислорода, представлены как среднее \pm SD; статистическая значимость определялась с помощью теста Манна-Уитни (значение $p < 0,05$ принималось как статистически значимое). Статистические данные обрабатывались с помощью программы GraphPad Prism версии 8.0 (GraphPad. San Diego. CA. USA).

Результаты исследования

В результате проведенных исследований, что биологическое потребление кислорода в контроле соответствовала рыбоводным требованиям, предъявляемым для культивации радужной форели, и составила от 2,4 до 2,9 мл/л за время опытных измерений. Максимальное значение БПК₅ было зафиксировано на конец опыта.

При оценке опытных режимов работы экспериментальной установки были зафиксированы существенные изменения уровне растворенного органического вещества, измеряемого по БПК₅. Так при использовании только источника УФ излучения отмечалось невыраженная динамика данного показателя (табл. 1).

Таблица 1

Результаты измерений БПК₅ в опытных группах с различным режимом работы экспериментальной установки

	T1	T6	T12	T24
Контроль	2.4 \pm 0.2	2.53 \pm 0.15	2.76 \pm 0.15	2.93 \pm 0.37
УФ	2.6 \pm 0.2	2.46 \pm 0.15	2.51 \pm 0.07	2.43 \pm 0.05
УЗ	2.6 \pm 0.17	2.53 \pm 0.23	2.33 \pm 0.05	2.1 \pm 0.17
УФУЗ	2.53 \pm 0.2	2.43 \pm 0.05	2.06 \pm 0.15	1.95 \pm 0.05

На начало эксперимента показатель БПК₅ в данной группе не отличался от контроля, по окончании эксперимента (24 часа) недостоверное отличие от контроля составило 17,04 % (рис. 3).

Существенных отличий во время других точек отбора проб зафиксировано не было.

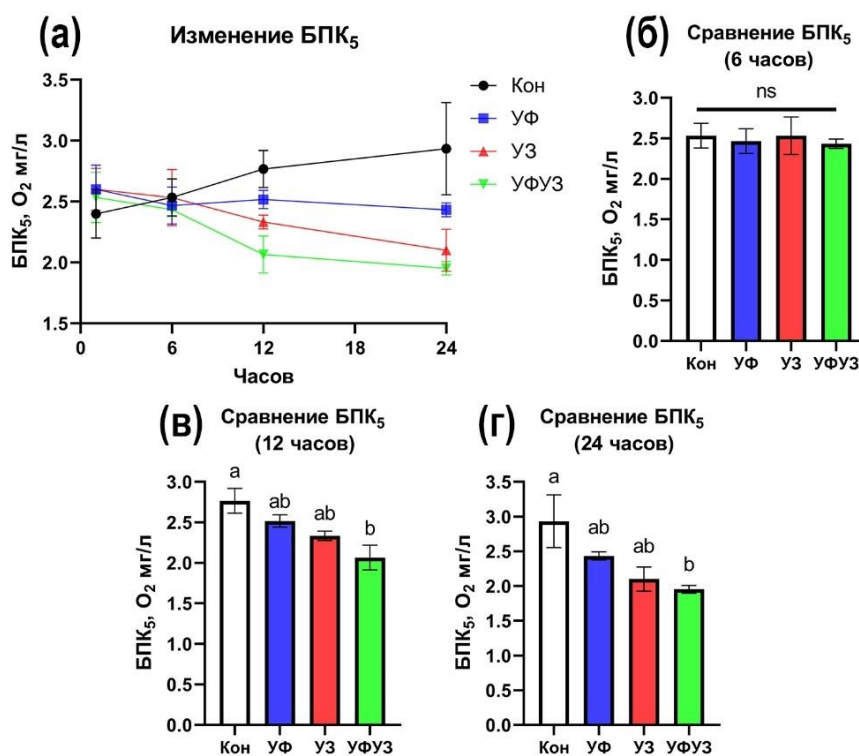


Рисунок 3. Изменение показателя БПК₅ в опытных группах с различным режимом работы экспериментальной установки за 24 часа

Влечение в установке только источников УЗ изучения привело к незначительно снижению уровня органического вещества. Так на 6 час работы установки показатель БПК составил $2,53 \pm 0,23$ мг/л, а на 12 и 24 час $2,33 \pm 0,0$ и $2,1 \pm 0,17$ мг/л соответственно. При этом достоверных отличий от контроля режима работы установки выявлено не было. Стоит также отметить незначительную разницу между режимами работы УЗ и УФ, которая за 24 часа составила 13,6 %.

Режим работы установки, в котором использовалось как УФ излучение, так УЗ волны показал лучшие результаты в отношении снижения показателя БПК₅. Достоверные различия были зафиксированы на 12 ч и 24 ч опыта ($p < 0.05$). Отличия от контрольного режима работы составило 25,3 и 33,4 %, соответственно.

Исходя из проведенных исследований можно сделать вывод, что совместное воздействие УЗ и УФ может способствовать более эффективному окислению растворенного органического вещества, хотя в отдельных режимах достоверного снижения показателя БПК зафиксировано не было.

Несмотря на то, что снижение уровня органического загрязнения не является основной задачей экспериментальной установки, некоторые режимы ее работы оказывают достоверное влияние на биологическое потребление кислорода, снижая количество органического вещества в воде УЗВ.

Стоит отметить, что в снижении показателя БКП может быть задействованы не только экспериментальная установка, но и другие элементы фильтрации. Так, окисленное органическое вещество может интенсивней потребляться сапрофитными бактериями биофильтра [7]. В УЗВ для содержания форели поддерживается температура не более 18°C, которая препятствует активному развитию бактериальной пленки [18].

В основе действия УЗ излучения лежит эффект кавитации, возникающие при прохождении ультразвука через жидкость, в результате чего образуются микропузырьки газа, при разрушении которых происходит образование большого количества энергии, выражаемой в импульсивном давлении достигающим 500–10000 атм. и температуры 3000–5000 К [19]. В результате этого образуются вторичные радикалы, способные к оксифильной атаке и различные механические силы [20]. Данные эффекты могут способствовать разрушению крупных органических комплексов и окислению крупных органических молекул [21]. Результаты, полученные в исследовании, показывают, что наибольший эффект от применения УЗ и УФУЗ установки наступает через 24 часа, что может указывать на наличие накопительного действия.

Некоторые исследователи ранее отмечали незначительное изменение некоторых гидрохимических показателей водной среды при использовании УЗ установок [22]. При этом отмечается, что совмещение ультразвукового излучения с другими типами воздействия повышает эффективность их работы [13]. Изменение конструкции установки (форма и объем реакционной камеры), а также частота и мощность УФ/УЗ излучения также могут способствовать увеличению скорости окисления органического вещества в водной среде. В данной работе использовался УЗ излучатель с рабочей частотой 25 кГц, которые можно отнести к низкочастотной части УЗ диапазона (НЧУЗ) [23; 24]. Отмечается, что использование НЧУЗ является более эффективным при дезинфекции водной среды и деструкции органического вещества, в сравнении с высокочастотным УЗ (ВЧУЗ).

Увеличение мощности излучателя также может привести к дополнительному эффекту очистки воды [14]. Следует отметить, что увеличение мощности УЗ излучателя приводит к кратному увеличению потребления энергии, что не оптимально для использования в аквакультуре, даже с учетом более эффективной работы.

Среди эффектов, оказывающих влияние на эффективность работы специализированных установок, стоит выделить цветность и прозрачность воды. Так как присутствие взвешенных частиц значительно снижает эффективность работы УФ излучения и растворенных газов, необходимых для возникновения кавитационных полостей [25]. В случае высокой биологической нагрузки, при наличии механических взвесей в водной среде УЗВ эффект от применения установки, вероятно будет значительно ниже.

Полученные в исследовании данные дают возможность предположить, что максимальные эффект деструкции органических соединений будет наблюдаться при постоянной работе УФ и УЗ излучателя. Такой режим работы способен препятствовать накоплению в водной среде сложных органических соединений и поддерживать качество водной среды на необходимом для объектов культивации. Не смотря на достоверные уровни снижения БПК₅ при работе установки необходимо оценить возможность ее работы в других режимах (увеличение частоты, мощности, расположение в системе фильтрации и постоянного переменного режима работы).

Выводы

Включение в элементы фильтрации системы УЗВ экспериментальной установки, включающей истоки УФ и генератор УЗ, позволяет не только снизить микробиологическую нагрузку, но и обеспечить дополнительное очистку за счет окисления органического вещества.

БПК₅, как интегральный показатель содержания органического вещества, позволил оценить работу экспериментальной установки в различных режимах: УФ, УЗ и УФУЗ.

Достоверное снижение БПК₅ происходило только при совместном действии УФУЗ, за 12 часов работы экспериментальной установки. Другие режимы показывали незначительное улучшение показателя биологического потребления кислорода (до 18,3 % от контроля в группе УЗ за 24 часа).

Исследованная экспериментальная установка может быть рекомендована для использования в холодноводных УЗВ. При этом ее эффективность может быть улучшена за счет изменения частоты и мощности источников УФ, УЗ излучения и определения оптимального режима работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Naylor R.L. et al. A 20-year retrospective review of global aquaculture // *Nature*. — 2021. — Т. 591. — № 7851. — P. 551–563.
2. Русинов И.С. и др. Исследование качества воды в экспериментальных рыбоводных установках замкнутого водообеспечения // *Инженерная экология*. — 2010. — № 5. — С. 37–47.
3. Badiola M., Mendiola D., Bostock J. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges // *Aquacultural Engineering*. — 2012. — Т. 51. — P. 26–35.
4. Локтионова Е.Г., Яковлева Л.В. Определение содержания растворенного кислорода и биологического потребления кислорода для оценки качества речной воды // *Экология и промышленность России*. — 2011. — № 10. — С. 34–35.
5. Zhang S.Y. et al. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production // *Aquacultural Engineering*. — 2011. — Т. 45. — № 3. — P. 93–102.
6. Chen S., Ling J., Blancheton J.P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors // *Aquacultural engineering*. — 2006. — Т. 34. — № 3. — P. 179–197.
7. Pedersen L.F. et al. Peracetic acid degradation and effects on nitrification in recirculating aquaculture systems // *Aquaculture*. — 2009. — Т. 296. — № 3-4. — P. 246–254.
8. Tango M.S., Gagnon G.A. Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems // *Aquacultural Engineering*. — 2003. — Т. 29. — № 3-4. — P. 125–137.
9. Губейдуллин Х.Х. и др. Очистка сточных вод ультрафиолетом и ультразвуком в животноводческих комплексах // *Аграрная наука*. — 2012. — № 11. — С. 31–31.
10. Goldstein S., Rabani J. Mechanism of nitrite formation by nitrate photolysis in aqueous solutions: the role of peroxyxynitrite, nitrogen dioxide, and hydroxyl radical // *Journal of the American Chemical Society*. — 2007. — Т. 129. — № 34. — P. 10597–10601.
11. Mason T.J., Lorimer J.P. *Applied sonochemistry: the uses of power ultrasound in chemistry and processing*. — Weinheim: Wiley-Vch, 2002. — Т. 10., URL: https://www.researchgate.net/publication/259056178_Applied_Sonochemistry_The_Uses_of_Power_Ultrasound_in_Chemistry_and_Processing.

12. Tan W.K. et al. Fish pond water treatment using ultrasonic cavitation and advanced oxidation processes // *Chemosphere*. — 2021. — Т. 274. — P. 129702.
13. Gogate P.R., Kabadi A.M. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology // *Biochemical Engineering Journal*. — 2009. — Т. 44. — № 1. — P. 60–72.
14. Nam-Koong H. et al. Preliminary test of ultrasonically disinfection efficacy towards selected aquaculture pathogens // *Aquaculture*. — 2020. — Т. 515. — P. 734592.
15. 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. — Т. 164. — P. 112072.
16. Климов В.А. и др. Изменение состава перифитона элементов фильтрации установок замкнутого водоснабжения при совместном воздействии УФ-излучения и ультразвука // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. — 2022. — № 4. — С. 113–122.
17. Никифоров-Никишин Д.Л., Горбунов А., Бугаев О.Г., Смородинская С.В., Кочетков Н.И. Совместное воздействие УФ излучения и ультразвуковой кавитации на сапрофитную и условно-патогенную микрофлору холодноводных УЗВ // *Рыбное хозяйство*. 2023. № 1. С. 72–76.
18. Nikiforov-Nikishin D.L. et al. Temperature differentiation of aquatic microflora of a closed water supply system by the example of incubation of microbiological crops at 21 and 37 C // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — IOP Publishing, 2021. — Т. 723. — № 4. — P. 042049.
19. Patil M.N., Pandit A.B. Cavitation-a novel technique for making stable nano-suspensions // *Ultrasonics Sonochemistry*. — 2007. — Т. 14. — № 5. — P. 519–530.
20. Gogate P.R. et al. Mapping of sonochemical reactors: review, analysis, and experimental verification // *AIChE Journal*. — 2002. — Т. 48. — № 7. — P. 1542–1560.
21. Neis U., Blume T. Ultrasonic disinfection of wastewater effluents for high-quality reuse // *Water Science and Technology: Water Supply*. — 2003. — Т. 3. — № 4. — P. 261–267.
22. Doosti M.R., Kargar R., Sayadi M.H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review // *Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences*. — 2012. — Т. 2. — № 2. — P. 96.
23. Василяк Л.М. Применение ультразвука в системах для обеззараживания воды // *Электронная обработка материалов*. — 2010. — № 5(265). — С. 106–111.
24. Laborde J.L. et al. Acoustic cavitation field prediction at low and high frequency ultrasounds // *Ultrasonics*. — 1998. — Т. 36. — № 1-5. — P. 581–587.
25. Madge B.A., Jensen J.N. Ultraviolet disinfection of fecal coliform in municipal wastewater: effects of particle size // *Water Environment Research*. — 2006. — Т. 78. — № 3. — P. 294–304.

Klimov Viktor Aleksandrovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russia
E-mail: mirvar@rambler.ru

Kurochkina Valentina Aleksandrovna

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
E-mail: kurochkina@mgsu.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=657072

Kochetkov Nikita Il'ich

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russia

Nikiforov-Nikishin Aleksey L'vovich

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russia

Lebedev Nikolay Mikhaylovich

Alexandra Plus LLC, Vologda, Russia
E-mail: mail@alexplus.ru

Lebedev Oleg Yur'evich

Alexandra Plus LLC, Vologda, Russia
E-mail: mail@nt-eco.ru

Evaluation of the influence of the combined action of ultraviolet and ultrasonic radiation on the destruction of dissolved organic substance in installations of circulated water supply

Abstract. In this work, using an experimental installation, the effectiveness of its operation as part of the filtration elements of a cold-water recirculating water supply installation for keeping rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) was studied. In the experiment, the effect of several operating modes of the installation with different exposure times on the indicator of biological oxygen consumption (BOD₅) was studied. The data obtained in the study allow us to state that the combined mode of operation using ultraviolet and ultrasound significantly reduces the amount of organic matter at 12 and 24 hours of operation ($p < 0.05$). The level of reduction relative to the control mode of operation was 25.3 and 33.4 %, respectively. Other modes of operation (UV, US) led to a decrease in BOD, not significantly different from the control. The maximum operating mode of the installation allows using it as part of a RAS for growing cold-water fish species. At the same time, an increase in the power of the UV source and selection of the ultrasound frequency can probably significantly increase its efficiency.

Keywords: aquaculture; RAS; ultraviolet radiation; ultrasound; BOD

REFERENCES

1. Naylor R.L. et al. A 20-year retrospective review of global aquaculture // Nature. — 2021. — V. 591. — № 7851. — P. 551–563.

2. Rusinov I.S. et al. Investigation of water quality in experimental fish-breeding installations of closed water supply // *Engineering ecology*. — 2010. — no. 5. — P. 37–47.
3. Badiola M., Mendiola D., Bostock J. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges // *Aquacultural Engineering*. — 2012. — V. 51. — P. 26–35.
4. Loktionova E.G., Yakovleva L.V. Determination of the content of dissolved oxygen and biological oxygen consumption for assessing the quality of river water // *Ecology and Industry of Russia*. — 2011. — № 10. — P. 34–35.
5. Zhang S.Y. et al. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production // *Aquacultural Engineering*. — 2011. — V. 45. — № 3. — P. 93–102.
6. Chen S., Ling J., Blancheton J.P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors // *Aquacultural engineering*. — 2006. — V. 34. — № 3. — P. 179–197.
7. Pedersen L.F. et al. Peracetic acid degradation and effects on nitrification in recirculating aquaculture systems // *Aquaculture*. — 2009. — V. 296. — № 3-4. — P. 246–254.
8. Tango M.S., Gagnon G.A. Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems // *Aquacultural Engineering*. — 2003. — V. 29. — № 3-4. — P. 125–137.
9. Gubeidullin Kh.Kh. et al. Wastewater treatment by ultraviolet and ultrasound in livestock complexes // *Agrarnaya nauka*. — 2012. — № 11. — P. 31–31.
10. Goldstein S., Rabani J. Mechanism of nitrite formation by nitrate photolysis in aqueous solutions: the role of peroxyxynitrite, nitrogen dioxide, and hydroxyl radical // *Journal of the American Chemical Society*. — 2007. — T. 129. — № 34. — P. 10597–10601.
11. Mason T.J., Lorimer J.P. *Applied sonochemistry: the uses of power ultrasound in chemistry and processing*. — Weinheim: Wiley-Vch, 2002. — Vol. 10.
12. Tan W.K. et al. Fish pond water treatment using ultrasonic cavitation and advanced oxidation processes // *Chemosphere*. — 2021. — V. 274. — P. 129702.
13. Gogate P.R., Kabadi A.M. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology // *Biochemical Engineering Journal*. — 2009. — V. 44. — № 1. — P. 60–72.
14. Nam-Koong H. et al. Preliminary test of ultrasonically disinfection efficacy towards selected aquaculture pathogens // *Aquaculture*. — 2020. — V. 515. — P. 734592.
15. 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. 164. — P. 112072.
16. Klimov V.A. et al. Changes in the composition of the periphyton of the filtration elements of recirculating water supply installations under the combined action of UV radiation and ultrasound // *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*. — 2022. — № 4. — P. 113–122.
17. Nikiforov-Nikishin D.L., Gorbunov A., Bugaev O.G., Smorodinskaya S.V., Kochetkov N.I. Combined effect of UV radiation and ultrasonic cavitation on saprophytic and conditionally pathogenic microflora of cold-water RAS // *Rybnoe. economy*. 2023. № 1. P. 72–76.

18. Nikiforov-Nikishin D.L. et al. Temperature differentiation of aquatic microflora of a closed water supply system by the example of incubation of microbiological crops at 21 and 37 C // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2021. — V. 723. — № 4. — P. 042049.
19. Patil M.N., Pandit A.B. Cavitation-a novel technique for making stable nano-suspensions // Ultrasonics Sonochemistry. — 2007. — V. 14. — № 5. — P. 519–530.
20. Gogate P.R. et al. Mapping of sonochemical reactors: review, analysis, and experimental verification // AIChE Journal. — 2002. — V. 48. — № 7. — P. 1542–1560.
21. Neis U., Blume T. Ultrasonic disinfection of wastewater effluents for high-quality reuse // Water Science and Technology: Water Supply. — 2003. — V. 3. — № 4. — P. 261–267.
22. Doosti M.R., Kargar R., Sayadi M.H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review // Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences. — 2012. — Vol. 2. — № 2. — P. 96.
23. Vasilyak L.M. The use of ultrasound in systems for water disinfection // Electronic processing of materials. — 2010. — № 5(265). — P. 106–111.
24. Laborde J.L. et al. Acoustic cavitation field prediction at low and high frequency ultrasounds // Ultrasonics. — 1998. — V. 36. — № 1-5. — P. 581–587.
25. Madge B.A., Jensen J.N. Ultraviolet disinfection of fecal coliform in municipal wastewater: effects of particle size // Water Environment Research. — 2006. — V. 78. — № 3. — P. 294–304.