

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 619:615.837:597:577

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-3-17-24>

Количественные и весовые показатели развития икры и личинок африканского сома при обработке ультразвуком малой мощности

Л.В. Бунеева , О.А. Сапожкова И.Д. Шелякин

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж,
Российская Федерация✉ buneeval@mail.ru

EDN: QJBLQX

Аннотация

Введение. Рост мирового населения и изменение климатических условий на планете диктуют необходимость в поиске инновационных методов и технологий, способных увеличить урожайность и эффективность сельскохозяйственной отрасли, и в частности — промышленного рыбоводства. Одним из таких методов в последние годы стал ультразвук, широко применяющийся во многих отраслях промышленности благодаря своим уникальным свойствам и возможностям. В рыбоводстве использование ультразвука может значительно улучшить процессы выращивания рыбы, увеличивая скорость роста, улучшая пищеварение и общее здоровье рыбы, однако до сих пор вопрос биостимуляции икры и личинок ультразвуком малой мощности остается неизученным. *Цель данной работы* — исследование биостимуляции икры и личинок африканского (клариевого) сома ультразвуком в аквариумах в качестве перспективного метода улучшения роста и выживаемости на ранних стадиях развития данного биологического объекта, а также потенциального метода профилактики инфекционных и инвазионных заболеваний.

Материалы и методы. Объектом данного исследования является африканский клариевый сом, он же мраморный клариевый сом (*Clarias gariepinus*). В ходе эксперимента, проводившегося в рыбоводческом хозяйстве ООО «Рыбная ферма «Мраморный сом» (г. Липецк) в период с марта по сентябрь 2023 г., были сформированы 4 группы — три экспериментальные и одна контрольная. Икра и личинки африканского сома подвергались воздействию ультразвука малой мощности, в экспериментальных группах экспозиция составляла 30 с, 60 с и 120 с соответственно; контрольную группу воздействию не подвергали. Биостимуляция проводилась маломощным погружным источником ультразвуковых волн (0,243 Вт/см²). Проведено 6 воздействий. Сортировку производили на 15-й день от начала инкубации. Всего проведено четыре серии опытов.

Результаты исследования. Первая, вторая и третья группы во всех сериях эксперимента по результатам сортировки содержали крупных личинок африканского сома — в процентном соотношении от 44 до 46 %; показатель контрольной группы по крупным личинкам — 19 %. По среднему размеру сортировка дала следующий результат: 1–3 экспериментальные группы — от 52 до 54 % от общего количества личинок; в контрольной — 72 %. По мелким личинкам получены следующие значения: группы 1–3 — от 2 до 3 %, в контрольной — 9 % от общего количества по группам и сериям соответственно.

Обсуждение и заключение. На рост и развитие икры и личинок африканского сома большое влияние оказывают гидрологические показатели воды: температура, оксигенация, освещённость, водородный показатель pH, жесткость, содержание гидрокарбонатов, фосфатов, нитратов и других химических элементов. Кроме того, оплодотворение икры может произойти неравномерно из-за неоднородного смешивания икры и молока, качества и степени зрелости икры при оплодотворении, что может дать разный количественный показатель выхода личинок сома. Воздействие ультразвуком на икру и личинок в эксперименте дало увеличение количества крупных личинок, что благоприятно для получения рыбопосадочного материала. Своевременная сортировка рыбопосадочного материала перед переводом африканского сома в установки замкнутого водоснабжения снижает каннибализм в процессе дальнейшего выращивания. Применение ультразвука в рыбоводстве требует дальнейшего изучения с целью выявления оптимальной кратности обработки и влияния на иммунитет, скорости роста товарной рыбы, что позволит обеспечить растущие потребности населения в качественных продуктах рыбной промышленности.

Ключевые слова: ультразвук, биостимуляция, икра и личинка африканского сома, *Clarias gariepinus*, рыбоводство, набор биомассы, установка замкнутого водоснабжения

Для цитирования. Бунеева Л.В., Сапожкова О.А., Шелякин И.Д. Количественные и весовые показатели развития икры и личинок африканского сома при обработке ультразвуком малой мощности. *Ветеринарная патология*. 2024;24(3):17–24. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-3-17-24>

Original Empirical Research

Quantitative and Weight Indicators of African Catfish Eggs and Larvae Development under Exposure to the Low-Power Ultrasound

Liudmila V. Buneeva ✉, Olga Al. Sapozhkova , Ivan D. Shelyakin 
Voronezh State Agrarian University Named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia
✉ buneeval@mail.ru

Abstract

Introduction. The growth of the world population and changing climate conditions on the planet induce the search for the innovative methods and technologies capable to increase the productivity and efficiency of the agricultural sector, and in particular — industrial fish-farming. In recent years, ultrasound has become one of such methods, widely used in many industries due to its unique properties and capabilities. In fish-farming, the use of ultrasound can significantly improve the processes of fish breeding by increasing the growth rate, improving digestion and overall health of fish, however, the issue of biostimulation of eggs and larvae with low-power ultrasound remains unexplored. The aim of this work is to study the biostimulation of eggs and larvae of African (clarias) catfish with ultrasound in aquariums as an advanced method of improving the growth and survival of this biological object at the early stages of its development, as well as a potential method for preventing the infectious and invasive diseases.

Materials and Methods. The object of this study is an African clarias catfish, also known as the marbled clarias catfish (*Clarias gariepinus*). During the experiment, carried out at the fish-farm the “Marbled Catfish” Fish Farm” LLC (Lipetsk) from March to September 2023, 4 groups were formed — three experimental and one control. The eggs and larvae of the African catfish were exposed to the low-power ultrasound, in the experimental groups the exposure lasted for 30 s, 60 s and 120 s, respectively; the control group didn’t undergo any ultrasonic treatment. Biostimulation was carried out with a low-power submersible source of ultrasonic waves (0.243 W/cm²) and was performed 6 times. Sorting was carried out on the 15-th day from the start of incubation. In total, four series of experiment were carried out.

Results. The first, second and third groups in all series of the experiment, according to sorting results, contained the large-sized larvae of the African catfish in a percentage ratio of 44 to 46%; the percentage of the large-sized larvae in the control group was 19%. In terms of average-size, sorting gave the following result: in 1–3 experimental groups — from 52 to 54% of the total number of larvae; in the control one — 72%. For small-sized larvae, the following values were obtained: in groups 1–3 — from 2 to 3%, in the control group — 9% of the total number of larvae in the groups and series, respectively.

Discussion and Conclusion. The growth and development of African catfish eggs and larvae are greatly influenced by the hydrological parameters of water: temperature, oxygenation, illumination, pH, hardness, content of hydrocarbonates, phosphates, nitrates and other chemical elements. In addition, fertilization of eggs may occur unevenly due to non-uniform mixing of eggs and milt, quality and maturity of eggs during fertilization, which can result in different quantities of the catfish larvae output. The exposure of eggs and larvae to the ultrasound in the experiment resulted in an increase of a number of large-sized larvae, which is favourable for obtaining the fish seed material. Timely sorting of fish seed material before transferring an African catfish to the closed water supply systems reduces the cannibalism during further cultivation. The use of ultrasound in fish-farming requires further study to identify the optimal frequency of treatment and the effect on the commercial fish immunity and growth rate, which will foster the satisfaction of the growing needs of the population in the high-quality products of fishing industry.

Keywords: ultrasound, biostimulation, eggs and larvae of African catfish, *Clarias gariepinus*, fish-farming, biomass gain, closed water supply system

For citation. Buneeva LV, Sapozhkova OA, Shelyakin ID. Quantitative and Weight Indicators of African Catfish Eggs and Larvae Development under Exposure to the Low-Power Ultrasound. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2024;24(3):17–24. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-3-17-24>

Введение. Африканский сом (*Clarias gariepinus*) — перспективный объект аквакультуры. При этом икра, личинки и молодь африканского сома очень чувствительны к изменениям окружающей среды — любой стресс на раннем этапе развития приводит к снижению темпов их роста и выживаемости [1, 2]. Для отечественного рыбоводства в разных регионах характерен ряд общих проблем: низкие объемы рыбоводства, высокая стоимость качественных кормов, недостаточность ассортимента аквакультурной продукции, невысокая отдача и низкая производительность, высокая зависимость от импортного оборудования, ветеринарных препаратов, кормов и рыбопосадочного материала [3, 4].

Повышение рыбопродуктивности требует комплексного подхода, учитывающего физиологические, генетические, пищеварительные и зоогигиенические факторы [1, 2], а также применение современных технологий [5–9], одной из которых является ультразвук. Эту форму энергии можно использовать на разных этапах выращивания рыбы в установках замкнутого водоснабжения. Объектом воздействия ультразвуковых установок могут быть как непосредственно биологические особи, так и вода, которая обрабатывается с целью инактивации патогенных микроорганизмов и паразитов [10–13]. Биологическое действие ультразвука на клетки и ткани определяется интенсивностью ультразвука и экспозицией и, как следствие, может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на организм в целом [5, 13–19]. Потенциально положительное влияние на мембраны живых клеток организма имеет именно маломощный ультразвук, повышая их избирательную проницаемость, что позволяет лучше усваивать питательные вещества, повышать активность ферментов, способствует регенерации тканей [20, 21, 22]. Тем не менее, вопрос биостимуляции икры и личинок в промышленном рыбоводстве ультразвуком малой мощности остается неизученным.

Целью данной работы является исследование биостимуляции икры и личинок африканского (клариевого) сома ультразвуком в качестве возможного метода улучшения роста и выживаемости на ранних стадиях развития, а также профилактики инфекционных и инвазионных заболеваний данного биологического объекта.

Материалы и методы. Исследование проводилось в рыбоводческом хозяйстве ООО «Рыбная ферма «Мраморный сом» (г. Липецк) в период с марта по сентябрь 2023 г. Объектом исследования послужил африканский клариевый сом, он же мраморный клариевый сом (*Clarias gariepinus*). В ходе эксперимента были сформированы 4 группы: 1, 2, 3 — экспериментальные, 4 — контрольная. Инкубация происходила при следующих параметрах входящей в аквариумы артезианской воды: температура 27,3 °С, уровень pH 7,3 при насыщении воды кислородом 96 %.

Источником воздействия являлся погружной ультразвуковой источник УСУ 0710 (сертификат соответствия № ЕАЭС RU C-RU.НАО4.В.00119/20 серии RU № 0128152, срок действия с 19.05.2020 по 18.05.2025, производитель ООО «НПО «Ретон», Россия) мощностью воздействия 0,243 Вт/см². Рекомендуемые дозировки ультразвука 0,05–1 Вт/см², реже до 2–3 Вт/см², так как при мощности ниже 0,05 Вт/см² ультразвук практически не оказывает регистрируемого биологического действия, а при интенсивностях, превышающих 1 Вт/см², может вызвать нежелательные эффекты, такие как подавление физиологических функций, перегрев тканей, деструкция клеток и клеточных органелл, повреждение ДНК [10, 15, 16, 20]. Временные экспозиции в группах следующие: 1-я группа — 30 с, 2-я группа — 60 с, 3-я группа — 120 с, 4-я контрольная группа — воздействие не проводилось. Всего проведено 6 обработок ультразвуком в соответствии с периодами онтогенеза исследуемого объекта: первую обработку икры проводили на 19-й час от начала инкубации; на следующий день проводили обработку вышедших из икры личинок (с желточным мешком); далее обработку личинок проводили каждые 3 дня еще 4 раза (экспозиция выдерживалась в соответствии с группой). Время обработки — с 10 до 11 ч утра. Личинок африканского сома с желточным мешком некоторые рыбоводы называют предличинками (возраст 2–3 суток), личинками — возрастом до четырех недель (до 30 суток), мальками — возрастом 6 недель (40 суток), молодь — 7 недель (50 суток) [2]. Всего проведено четыре серии опытов, каждый раз максимально повторяли заданные условия эксперимента. В четырех сериях самки-производители и самцы, соответственно, разные, но гормональная подготовка самок, получение икры и метод смешивания с молоками — аналогичны. Распределение на сетки икры в каждом повторе одинаково — 70 г. Кратность обработки, температурный режим и гидрологические показатели воды, сроки сортировки в сериях не менялись.

Сортировку и взвешивание проводили на 15-й день от начала инкубации. Сортировка личинок производилась ситом собственного производства, габаритная длина — 300 мм, ширина — 360 мм, высота — 200 мм. Отверстие сита круглой перфорации от 1 мм до 10 мм в диаметре. Сортировку личинок проводили с помощью лотков с размерами ячеек: для крупных личинок диаметр ячейки составил 3 мм, для средних — 2,5 мм, личинки, которые прошли через сито с диаметром ячеек 2,5 мм, — мелкие. Личинок взвешивали на электронных весах М-ЕП2 FLAT (Mertech, Китай) максимально допустимой массой взвешивания 200 г и точностью взвешивания до 0,01 г. При сортировке взвешивали массу каждой партии личинок (крупные, средние и мелкие) из четырех групп. Средний вес личинок из каждой группы определяли методом взвешивания 25 личинок по отдельности, рассчитывали средний вес

из каждой отсортированной партии. Затем общую массу личинок делили на среднюю массу одной личинки и получали количество особей в отсортированной партии. Для математической обработки полученных результатов использовали программу Microsoft Excel 2010.

Результаты исследования. В таблице 1 отражено суммарное количество личинок по четырем сериям после сортировки по группам. В первой группе (экспозиция 30 с) получен самый низкий результат по общему количеству личинок крупных, средних и мелких. Это объясняется погрешностью смешивания молок с икрой

в первой серии первой группы соответственно, то есть икринки не оплодотворились.

При анализе и статистической обработке получены результаты (таблица 2): в среднем в экспериментальных группах крупных личинок больше, по сравнению с контрольной. Во второй группе (экспозиция 60 с) получено больше всего крупных личинок — 3267,50 шт. Личинок среднего размера в среднем больше в контрольной группе — 4962,50 шт., по сравнению с обработанными группами. Личинок мелких в среднем больше в контрольной группе — 650,50 шт., по сравнению с экспериментальными группами.

Таблица 1

Количество личинок после сортировки по размеру в 4-х сериях

Размер	1 группа, 30 с	2- группа, 60 с	3 группа, 120 с	4 группа, контроль
Крупные, шт.	9590	13070	12440	5100
Средние, шт.	11578	14861	14847	19850
Мелкие, шт.	387	514	718	2602

Таблица 2

Количество личинок по сериям и по группам

Размер	Серия	Группы			
		1 группа, 30 с	2 группа, 60 с	3 группа, 120 с	4 группа, контроль
Крупные, шт.	1	1360	3300	2720	1145
	2	2150	3500	3050	1230
	3	3100	3250	3620	1315
	4	2980	3020	3050	1410
Средние, шт.	1	1665	4005	3235	4790
	2	2603	3815	3690	4850
	3	3730	3515	4316	4860
	4	3580	3526	3606	5350
Мелкие, шт.	1	50	165	140	681
	2	147	135	180	585
	3	93	145	264	625
	4	97	69	134	711
Крупные, среднее кол-во, шт.	1–4	2397,50	3267,50	3110,00	1275,00
Средние, среднее кол-во, шт.	1–4	2894,50	3715,25	3711,75	4962,50
Мелкие, среднее кол-во, шт.	1–4	96,00	128,50	179,50	650,50

В таблице 3 отражено количество личинок после проведения сортировки. В первой серии первой группы получен очень маленький выклев — 3075 шт. личинок. Поскольку, по условиям эксперимента, икра получена от одной самки, раскладывалась по сеткам в одно время, при одинаковых условиях проводилось оплодотворение и инкубация, это дает нам основания предполагать возможную неоднородность распределения молок при смешивании с икрой.

В процентном выражении (таблица 4) крупных особей было больше в обработанных ультразвуком

группах (данные представлены в среднем значении по всем сериям и округлены до целого числа): 1–3 группы по результатам сортировки содержали крупных личинок африканского сома от 44 до 46 %; контрольная группа — 19 %. По среднему размеру личинок после сортировки следующий результат: 1–3 экспериментальные группы — от 52 до 54 % от общего количества личинок, в контрольной — 72 %. По мелким личинкам получены следующие значения: 1–3 группы от 2 до 3 %, в контрольной — 9 % от общего количества по группам и сериям соответственно.

Таблица 3

Количество личинок по сериям в группах

Номер серии	Группы			
	1 группа, 30 с	2 группа, 60 с	3 группа, 120 с	4 группа, контроль
1	3075	7470	6095	6616
2	4900	7450	6920	6665
3	6980	6910	8200	6800
4	6657	6615	6790	7471
Всего, шт.	21612	28445	28005	27552

Таблица 4

Процентное соотношение количества личинок разного размера по группам

Размер	1 группа, 30 с	2 группа, 60 с	3 группа, 120 с	4 группа, контроль
Крупные, %	44	46	44	19
Средние, %	54	52	53	72
Мелкие, %	2	2	3	9

По средней массе личинок после сортировки (таблица 5) получены следующие результаты: средняя масса крупных личинок составила в экспериментальных группах от $0,34 \pm 0,02$ до $0,35 \pm 0,02$ г по отношению к контрольной, в контрольной — $0,34 \pm 0,02$ г соответственно; средние личинки весили в эксперимен-

тальных группах от $0,21 \pm 0,01$ до $0,22 \pm 0,01$ г, в контрольной — $0,21 \pm 0,01$ г; мелкие личинки весили в экспериментальных группах от $0,18 \pm 0,01$ до $0,19 \pm 0,01$ г, в контрольной — $0,18 \pm 0,01$ г. По массе личинок во всех группах каждой серии выраженного различия не наблюдалось.

Таблица 5

Средняя масса личинки в группах по результатам сортировки

Средняя масса, г	1 группа, 30 с	2 группа, 60 с	3 группа, 120 с	4 группа, контроль
Крупные	$0,34 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$
Средние	$0,21 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,01$
Мелкие	$0,18 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$

За личиночный период онтогенеза биомасса личинок африканского сома в экспериментальных группах составила (в пропорции 3:1): крупных особей по четырем сериям — $14149,60 \pm 702,00$ г, $1734,00 \pm 102,00$ г — в контрольной; средних особей — $8967,14 \pm 412,86$ г — по всем сериям, $4168,5 \pm 198,50$ г — в контрольной; мелких особей — $296,56 \pm 16,19$ г по всем сериям, $468,36 \pm 26,02$ г — в контрольной. Соответственно, в пересчете среднего значения биомассы личинки (в пропорции 1:1) получили следующие значения: крупные особи — $4716,53 \pm 234,00$ г обработанные ультразвуком, контроль — $1734,00 \pm 102,00$ г; средние особи — $2989,05 \pm 137,62$ г обработанные ультразвуком, контроль — $4168,5 \pm 198,5$ г; мелкие особи — $98,85 \pm 5,4$ г обработанные ультразвуком, контроль — $468,36 \pm 26,02$ г. Биомасса живой личинки в первой группе (экспозиция 30 с) по всем сериям составила $5761,64 \pm 311,45$ г; во второй группе (экспозиция 60 с) — $7941,58 \pm 415,15$ г; в третьей группе (экспозиция 120 с) — $7749,58 \pm 404,45$ г; в контрольной группе (обработка не проводилась) — $6370,86 \pm 326,52$ г. В первой группе первой серии получен очень маленький выклев (3075 шт. личинок), следовательно, суммарная биомасса первой группы по всем сериям меньше, так как меньше суммарное количество личинок всех размеров первой группы по отношению к

второй, третьей и контрольной. Однако в процентном соотношении по размеру личинок (таблица 4) в обработанных ультразвуком группах процентное соотношение сопоставимо. Из обработанных ультразвуком групп вторая группа (экспозиция 60 с) дала по крупной личинке максимальный результат в 46 % по отношению к первой и второй обработанным группам (44 %). Анализ полученной биомассы личинок африканского сома оценивали по второй и третьей группе по отношению к контрольной. Биомасса второй группы по всем размерам во всех сериях составила $7941,58 \pm 415,15$ г; третьей группы — $7749,58 \pm 404,45$ г; контроль — $6370,86 \pm 326,52$ г. Во второй группе по отношению к контрольной биомасса личинки на 24,65 % ($t_{\text{st}}=2,97$; $p \leq 0,05$) больше, в третьей группе биомасса больше чем в контрольной на 21,64 % ($t_{\text{st}}=2,65$; $p \leq 0,05$).

Обсуждение и заключение. При изучении эффекта воздействия ультразвука малой мощности в условиях промышленного выращивания африканского сома получены положительные результаты. Вторая экспериментальная группа (экспозиция 60 с) показала лучший результат по набору общей биомассы выращиваемых личинок. Выявление повреждающих доз ультразвука для икры и личинок африканского сома не входило в задачи данного эксперимента.

Использование ультразвука при выращивании рыбопосадочного материала для улучшения роста и выживаемости на ранних стадиях развития и потенциального метода профилактики инфекционных и инвазионных заболеваний требует дальнейшего исследования. Погружных ультразвуковых источников, выпускаемых для целей воздействия ультразвуком малых мощностей на объекты аквакультуры с биостимуляционной целью, на рынке крайне мало, и носят они скорее экспериментальное и штучное, чем производственное исполнение. Достаточно широко представлено ультразвуковое оборудование зару-

бежных и отечественных производителей для обеззараживания воды и интенсификации процессов в различных сферах производства. Что касается применения ультразвуковых излучателей малых мощностей погружного характера в рыбоводческих хозяйствах, необходимо выявлять оптимальные режимы воздействия, которые могут отличаться из-за конструктивных особенностей излучателей у разных производителей, разных условий выращивания разных видов рыбы и других гидробионтов, а также физико-химических свойств воды — среды обитания водных биологических объектов.

Список литературы / References

1. Сыздыков К.Н., Куанчалеев Ж.Б., Марленов Э.Б., Асылбекова А.С., Мусин С.Е. Выращивание и кормление молоди клариевого сома. *Путь науки*. 2019;(9(67)):16–19.
2. Syzdykov KN, Kuanchaleev ZhB, Marlenov EB, Asylbekova AS, Musin SE. Growing and Feeding Young Sharptooth Catfish. *The Way of Science*. 2019;(9(67)):16–19. (In Russ.)
3. Мухитова М.Э., Романова Е.М., Любомирова В.Н., Романов В.В. Сравнительные исследования роста и развития популяций африканского клариевого сома, репродуцированных в разные сезоны. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(2(42)):193–198.
4. Mukhitova ME, Romanova EM, Lyubomirova VN, Romanov VV. Comparative Research on Growth and Development of Populations of African Sharptooth Catfish, Reproduced in Different Seasons. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;(2(42)):193–198. (In Russ.)
5. Волкова А.А. Аквакультура в РФ: актуальное состояние и перспективы развития. В: *Сборник статей XII Международной научно-практической конференции «Современная наука и молодые ученые»*. Пенза: Наука и Просвещение; 2022. С. 135–137.
6. Volkova AA. Aquaculture in the Russian Federation: Current State and Prospects of Development. In: *Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference “Modern Science and Young Scientists”*. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ.; 2022. P. 135–137. (In Russ.)
7. Агеев В., Костоусов В., Банина С., Марцуль О. Рыбная отрасль: перспективы развития. *Наука и инновации*. 2020;(3(205)):4–9.
8. Aheyets V, Kostousov V, Banina S, Martsul O. Fishing Industry: Development Prospects. *Nauka i innovatsii (Science and Innovation)*. 2020;(3(205)):4–9. (In Russ.)
9. Акопян В.Б., Богерук А.К., Браславец В.К., Призенко В.К. *Основы применения ультразвука в рыбном хозяйстве*. Москва: Росинформагротех; 2009. 92 с.
10. Akopyan VB, Bogeruk AK, Braslavets VK, Prizenko VK. *Fundamentals of the Use of Ultrasound in Fisheries*. Moscow: Rosinformagrotekh; 2009. 92 p. (In Russ.)
11. Самсонова С.П., Сергиенко А.И., Шалимова Е.В., Тилеманн Й. Альтернативные решения для очистки (обеззараживания) воды в оборотных системах различного назначения. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2018;(4(114)):16–20.
12. Samsonova SP, Sergienko AI, Shalimova EV, Thielemann J. Alternative Solutions for the Purification (Disinfection) of Water in Circulating Systems for Different Purposes. *Energy Saving and Water Treatment*. 2018;(4(114)):16–20. (In Russ.)
13. Антушева Т.И. Некоторые особенности влияния ультразвука на микроорганизмы. *Живые и биокосные системы*. 2013;(4):11.
14. Antusheva TI. Some Features of the Effect of Ultrasound on Microorganisms. *Live and Bio-Abiotic Systems*. 2013;(4):11. (In Russ.)
15. Sitjà-Bobadilla A, Oidtmann B. Chapter 5 – Integrated Pathogen Management Strategies in Fish Farming. Galina J (Ed.). In Book: *Fish Diseases. Prevention and Control Strategies*; Academic Press; 2017. P. 119–144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00005-3>
16. Abeledo-Lameiro MJ, Ares-Mazás E, Gómez-Couso H. Use of Ultrasound Irradiation to Inactivate *Cryptosporidium Parvum* Oocysts in Effluents from Municipal Wastewater Treatment Plants. *Ultrasonics Sonochemistry*; 2018;48:118–126. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2018.05.013>
17. Liu BD, Dong HT, Rong HW, Zhang RJ. Effects and Mechanism of Ultrasound Treatment on Chironomus Kinesis Eggs. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29:85482–85491. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21856-w>

11. Tan WK, Cheah SC, Parthasarathy S, Rajesh RP, Pang CH, Manickam S. Fish Pond Water Treatment Using Ultrasonic Cavitation and Advanced Oxidation Processes. *Chemosphere*. 2021;274:129702. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129702>
12. Teher D, Milla S. and 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. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:5669–5678. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8305-6>
13. Утешев В.К., Пашовкин Т.Н., Севиров А.Н., Мельникова Е.В., Садикова Д.Г., Карнауков В.Н. и др. Выживаемость зародышей амфибий после воздействия непрерывного ультразвука. *Биофизика*. 2006;51(3):539–544. Uteshev VK, Pashkovkin TN, Sevirov AN, Melnikova EV, Sadikova DG, Karnaukhov VN. et al. The Survival of Amphibian Embryos after Continuous Ultrasonic Treatment. *Biofizika*. 2006;51(3):539–544. (In Russ.).
14. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н. *Ультразвук. Аппараты и технологии*. Барнаул: ООО «Издательский дом «Бия»; 2015. 687 с. Khmelev VN, Shalunov AV, Khmelev SS, Tsyganok SN. *Ultrasound. Devices and Technologies*. Barnaul: Izdatel'skii dom “Biya” LLC Publ.; 2015. 687 p. (In Russ.).
15. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Хмелев С.С., Шакура В.А. Ультразвуковые технологии и оборудование для интенсификации процессов. В: *Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности»*. Бийск: Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»; 2015. С. 11–20. Khmelev VN, Tsyganok SN, Khmelev SS, Shakura VA. Ultrasonic Technologies and Equipment for Process Intensification. In: *Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, PhD Students and Young Scientists with International Participation “Technologies and Equipment for Chemical, Biotechnological and Food Industries”*. Biysk: Biysk Technological Institute (Branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Vocational Education “Altai State Technical University Named after I.I. Polzunov”; 2015. P. 11–20. (In Russ.).
16. Bart AN, Kyaw HA. Survival of Zebrafish, *Brachydanio Rerio* (Hamilton-Buchanan), Embryo after Immersion in Methanol and Exposure to Ultrasound with Implications to Cryopreservation. *Aquaculture Research*. 2003;34(8):609–615. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00852.x>
17. Furusawa Y, Kondo T, Tachibana K, Feril JrLB. Ultrasound-Induced DNA Damage and Cellular Response: Historical Review, Mechanisms Analysis, and Therapeutic Implications. *Radiation Research*. 2022;197(6):662–672. <https://doi.org/10.1667/RADE-21-00140.1.S1>
18. Navarro-Guillén C, do Vale Pereira G, Lopes A, Colen R, Engrola S. Egg Nutritional Modulation with Amino Acids Improved Performance in Zebrafish Larvae. *PLoS ONE*. 2021;16(4): e0248356. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248356>
19. Przystupski D, Ussovich M. Spectrum of cellular bioeffects caused by ultrasonic radiation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022., vol.23, no.19. P. 11222. <https://doi.org/10.3390/ijms231911222>
20. Акопян В.Б., Альков С.В. *Основы медицинской акустики: учебно-методическое пособие*. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2021. 58 с. Akopyan VB, Alkov SV. *Fundamentals of Medical Acoustics: A Teaching Manual*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ.; 2021. 58 p. (In Russ.).
21. Li H, Hu Y, Zhao X, Wan W, Du X, Kong B, et al. Effects of Different Ultrasound Powers on the Structure and Stability of Protein From Sea Cucumber Gonad. *LWT*. 2021;137:110403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110403>
22. Rahman SM, Strüssmann CA, Suzuki T, Majhi SK, Hattori RS, Alam MA. Effects of Ultrasound on Permeation of Cryoprotectants into Japanese Whiting *Sillago Japonica* Embryos. *Cryobiology*. 2017;77:19–24. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2017.06.003>

Об авторах:

Людмила Владимировна Бунеева, аспирант кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и паразитологии Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), buneeval@mail.ru

Ольга Александровна Сапожкова, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и паразитологии Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#)

Иван Дмитриевич Шелякин, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и паразитологии Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#)

Заявленный вклад авторов:

Л.В. Бунеева: подготовка и проведение эксперимента, анализ результатов, подготовка текста, формирование выводов.

О.А. Сапожкова: формирование целей и задач экспериментального исследования.

И.Д. Шелякин: научное руководство, формирование научного обоснования.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the authors:

Lyudmila V. Buneeva, PhD Student of the Veterinary and Sanitary Examination, Epizootology and Parasitology Department, Voronezh State Agrarian University Named after Emperor Peter the Great (1, Michurin St., Voronezh, 394087, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), buneeval@mail.ru

Olga A. Sapozhkova, Cand.Sci. (Veterinary), Associate Professor of the Veterinary and Sanitary Examination, Epizootology and Parasitology Department, Voronezh State Agrarian University Named after Emperor Peter the Great (1, Michurin St., Voronezh, 394087, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#)

Ivan D. Shelyakin, Cand.Sci. (Veterinary), Associate Professor of the Veterinary and Sanitary Examination, Epizootology and Parasitology Department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (1, Michurin St., Voronezh, 394087, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#)

Claimed Contributorship:

LV Buneeva: preparing and conducting the experiment, analysis of the results, preparing the text, formulating the conclusions.

OA Sapozhkova: formulating the aims and objectives of the experimental research.

ID Shelyakin: scientific supervision, formulating the scientific substantiation.

Conflict of interest statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 22.07.2024

Поступила после рецензирования / Revised 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted 21.08.2024