



Исследование микробиологических компонент в установке замкнутого цикла

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-1-102-109>
EDN: SAGWFG

Научная статья
УДК 579.67

Калайда Марина Львовна – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия
E-mail: kalayda4@mail.ru

Говоркова Лада Константиновна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия
E-mail: govorkovagoncharenko@mail.ru

Сафиуллин Рашид Ракипович – доктор сельскохозяйственных наук, руководитель Татарского филиала ФГБНУ «ВНИРО», Казань, Россия
E-mail: tatarstanniro@vniro.ru

Адреса:

1. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» – Россия, 420066, Казань, ул. Красносельская, 51
2. Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО» – Россия, 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Александра Попова, дом 4А

Рисунок 1. Модельная установка замкнутого цикла с осетровыми рыбами
Figure 1. Model closed-cycle plant with sturgeon fish

Аннотация. Рассмотрены вопросы формирования микробиоценоза модельной установки замкнутого цикла (УЗВ) с осетровыми рыбами. Приведены данные санитарно-показательных микроорганизмов в рыбоводной ёмкости и биофилтре. Рассмотрены микроорганизмы, участвующие в процессе очистки воды от азотистых метаболитов рыб. Показано, что в УЗВ, без применения обеззараживающих технологических узлов, складывается микробиом, формирующий санитарные характеристики вод и бактериопланктон, участвующий в круговороте азота. Выявлено, что в разных слоях биофилтра представленность микроорганизмов различна: наибольшее значение – в поверхностном слое биофилтра, где собирается фильтруемая загрузкой органика в условиях хорошей аэрации. Аналогичная картина отмечена у сапрофитных, колиформных бактерий. Обращает на себя внимание, если в природных водах сапрофитные бактерии составляют 0,01-0,1% от общего числа бактерий, то в условиях УЗВ эти соотношения – 76,9-89,5%. Аммонификаторы, начинающие процесс разложения метаболитов и органических загрязнений, интенсивно были представлены в поверхностном слое биофилтра, в зоне активного перемешивания средней части биофилтра – зонах наибольшей аэрации. Наблюдаемая картина распределения нитрификаторов была выровненной, их количество не превышало 2,6 тыс. КОЕ/мл.

Ключевые слова: установка замкнутого цикла, осетровые рыбы, вода, микробиологические показатели

Для цитирования: *Калайда М.Л., Говоркова Л.К., Сафиуллин Р.Р.* Исследование микробиологических компонент в установке замкнутого цикла // Рыбное хозяйство. 2025. № 1. С. 102-109. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-1-102-109>

STUDY OF MICROBIOLOGICAL COMPONENTS IN A RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM

Marina L. Kalaida – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

Lada K. Govorkova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

Rashit R. Safiullin – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Tatar branch of the Federal State Budgetary Institution «VNIRO», Kazan, Russia

Addresses:

1. **Kazan state power engineering university** – Russia, 420066, Kazan, Krasnoselskaya St., 51
2. **Tatar branch of the Federal State Budgetary Institution «VNIRO»** – Russia, 420029, Republic of Tatarstan, Kazan, st. Alexandra Popova, building 4A

Annotation. The issues of microbiocenosis formation in a model closed-cycle installation (RAS) with sturgeon fish are considered. Data on sanitary indicator microorganisms in the fish tank and biofilter are presented. Microorganisms involved in the process of water purification from nitrogenous metabolites of fish are considered. It has been shown that in RAS without the use of disinfecting technological units (UV lamps, ozonizers), a microbiome develops, forming the sanitary characteristics of water and bacterioplankton participating in the nitrogen cycle. It was revealed that in different layers of the biofilter the representation of microorganisms is different: the highest value is in the surface layer of the biofilter, where the organic matter filtered by the load is collected under conditions of good aeration. A similar picture was observed in saprophytic and coliform bacteria. It is noteworthy that if in natural waters saprophytic bacteria make up 0.01-0.1% of the total number of bacteria, then under RAS conditions these ratios are 76.9-89.5%. Ammonifiers, which begin the process of decomposition of metabolites and organic contaminants, were intensively represented in the surface layer of the biofilter, in the active mixing zone of the middle part of the biofilter – the zones of greatest aeration. The observed pattern of distribution of nitrifiers was leveled, their number did not exceed 2.6 thousand CFU/ml.

Keywords: recirculating aquaculture system, sturgeon fish, water, microbiological indicators

For citation: Kalaida M.L., Govorkova L.K., Safiullin R.R. (2025). Investigation of microbiological components in a closed-loop installation. // Fisheries. No. 1. Pp. 102-109. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-1-102-109>

Рисунки и таблица – авторские / The drawings and table were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Аквакультура – высокопродуктивная, современная отрасль народного хозяйства, которая обеспечивает рост продукции на 7,5% в год [1]. При росте мирового производства рыбы и морепродуктов, выпуск продукции аквакультуры возрастает опережающими темпами [2]. В Российской Федерации одной из важнейших задач, поставленных Доктриной продовольственной безопасности, является обеспечение населения высококачественной, доступной отечественной рыбной продукцией [3; 4]. При выращивании товарной рыбы промышленными методами эффективное производство будет формироваться ценными объектами аквакультуры [5]. Осетровые рыбы занимают особое место в аквакультуре. Естественное их воспроизводство находится на грани исчезновения. Компенсировать убыль естественных популяций осетровых и пополнить запасы возможно при искусственном воспроизводстве и выращивании в установке замкнутого цикла [6; 7]. Принцип работы заключается в переработке и повторном использовании воды, что позволяет минимизировать ее расход, снизить негативное воздействие на окружающую среду. Использование УЗВ при выращивании рыб направлено на увеличение плотности посадки рыбы, которая находится в контролируемых условиях среды [8]. Эти особенности выращивания создают предпосылки к возникновению инвазий, что делает актуальным контроль санитарного состояния рыбоводной системы [9; 10]. Задачей контроля является обеспечение высокого качества воды, способствующего созданию оптимальных условий для роста и развития рыб [11]. Однако содержание рыбы в УЗВ не решает проблемы болезней объектов аквакультуры. Заболевания различной природы могут за короткий срок уничтожить значительную часть (иногда до 100%) рыб [12]. Необходимо осуществлять постоянный контроль за состоянием здоровья рыб, численностью возбудителей и проводить мероприятия, предотвращающие возникновение заболеваний и снижающие ущерб от них [10; 11]. В связи с этим, изучение микробиологических характеристик водной среды обитания рыб является актуальным. Особое вни-

мание при изучении санитарного состояния водных экосистем уделяется санитарно-показательным микробиологическим характеристикам. В условиях высокой плотности молоди рыб, искусственного поддержания параметров среды обитания и кормления искусственными кормами возрастает не только риск заболеваний, но и их последствия [6]. При выращивании рыбы в установке с замкнутым циклом необходим постоянный контроль за такими параметрами, как содержание в оборотной воде аммония и нитритов. Значения pH следует поддерживать в оптимальном интервале, так как при pH менее 6,5 снижается эффективность процессов нитрификации и денитрификации. В воду рыбоводного бассейна постоянно попадают корм и продукты жизнедеятельности рыб. В процессе разложения этих остатков, в воде образуется большое количество азота в виде аммиака. Азот в форме свободного аммиака токсичен, поэтому подлежит преобразованию в биофильтре. Аммиак, в процессе окисления кислородом, преобразуется в нитриты, а затем – в нитраты. Этому способствуют определенные бактерии: аммонификаторы, нитрификаторы, денитрификаторы [13]. Развитие промышленного рыбоводства, с использованием установок с замкнутым циклом, должно базироваться не только на знаниях биологии разводимого объекта, технологии его выращивания, основ очистки воды, сбалансированности и качества кормов, но и учитывать закономерности формирования микробных сообществ и их функционирование в замкнутых системах. В связи с этим, изучение структуры микробиоценозов посадочного материала и выращиваемой рыбы, водной среды и кормов является весьма актуальным исследованием. Полученная информация поможет решить проблему предупреждения различных заболеваний рыб в промышленных хозяйствах и, таким образом, снизить смертность рыб из-за болезней [10; 12]. Цель работы – исследование воды по санитарно-микробиологическим характеристикам в разных зонах рыбоводной установки замкнутого цикла с осетровыми рыбами и исследование микроорганизмов, участвующих в процессе очистки вод от азотистых метаболитов рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследования послужили пробы воды из установки замкнутого цикла с осетровыми рыбами, которая функционирует на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». Модельная установка включала бассейн, блок водоочистки с биофильтром с загрузкой и блок водоподготовки. Объем воды в бассейне составил 3800 м³, объем биофильтра – 350 л, глубина биофильтра по столбу воды – 95 см. Плотность посадки осетровых видов рыб в экспериментальной установке – 14 кг/м³. Фото модельной установки замкнутого цикла представлено на рисунке 1.

Основное внимание при контроле микробиологических характеристик было уделено водам в бассейне (№ 1) и в биофильтре: № 2 – чистая вода после очистки при попадании в бассейн; № 3 – в поверхностном слое биофильтра; № 4 – в средней части биофильтра в зоне активного перемешивания загрузки биофильтра; № 5 – в нижней части биофильтра над зоной осадка. Вода из биофильтра для подачи в бассейн забирается с глубины ниже слоя активного перемешивания загрузки в биофильтре.

Измерялись физико-химические показатели: температура (°C), кислород (мг/дм³), насыщение воды кислородом (%), pH. Исследования воды проводились по следующим микробиологическим показателям: общее микробное число (ОМЧ) – количество микробов (мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных) в 1 мл жидкости, КОЕ/мл; сапрофитные бактерии являются показателем загрязнения воды органическими соединениями в 1 мл жидкости, КОЕ/мл; колиформные бактерии, относящиеся к группе кишечной палочки семейства *Enterobacteriaceae*, в 1 мл жидкости, КОЕ/мл. Их обнаружение показывает на возможное присутствие патогенной микрофлоры, увеличение которой может сказываться на общем санитарном состоянии вод [11]; аммонификаторы участвуют в процессе минерализации органических веществ; нитрификаторы преобразуют аммиак в нитриты (первая фаза нитрификации), а затем – в безвредные нитраты (вторая фаза нитрификации); денитрификаторы – преобразуют нитрат, полученный в процессе нитрификации, в нитрит в анаэробных условиях [13].

Аммонифицирующие микроорганизмы осуществляют разложение органических веществ и «передают», выделившийся в результате, аммиак нитрифицирующим бактериям. Идет процесс нитрификации, который заканчивается образованием нитритов и нитратов. Процесс нитрификации протекает в две ступени,

каждую из которых осуществляют специализированные бактерии – нитрификаторы первой и второй ступеней. Первую ступень неполной (частичной) нитрификации – окисление аммония до нитрита — осуществляют бактерии родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrosospira* и *Nitrosovibrio*. Вторую ступень – окисление нитрита до нитратов осуществляют бактерии родов *Nitribacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*. Денитрифицирующие бактерии окисляют органические вещества нитритом или нитратом (анаэробное дыхание) с образованием молекулярного азота. Хотя рыба выдерживает колебания pH от 6,0 до 9,5 без видимого угнетения, при низких pH усиливается отрицательное воздействие нитритов, а при высоких pH возрастает процент токсичного для рыб свободного аммиака. В качестве источника углерода денитрифицирующие бактерии используют органические вещества. Способность к денитрификации обнаружена у бактерий, принадлежащих к разным физиологическим группам: фототрофам (*Rhodospseudomonas sphaeroides*), хемолитотрофам (*Thiobacillus denitrificans*, *Paracoccus denitrificans*), грамположительным и грамотрицательным факультативным анаэробам (виды родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и др.). Наиболее часто способность к денитрификации распространена именно у этих родов, и большинство денитрификаторов являются хемоорганотрофами. Для исследования воды по микробиологическим показателям отбор проб, посев, инкубация и количественный учет бактерий производились по стандартным методикам [14; 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении микробиологических исследований температура, концентрация кислорода в воде, pH поддерживались на постоянном уровне и составили: температура – 19,5-20,5 °C; концентрация кислорода – 7,1-7,3 мг/дм³; насыщение воды кислородом – 78,5-80,2%; pH – 7,43-7,44.

Результаты микробиологического исследования по показателям общего микробного числа представлены на рисунке 2.

Общее микробное число варьировало в феврале от 9743 КОЕ/мл до 23182 КОЕ/мл, а в марте от 9750 КОЕ/мл до 23201 КОЕ/мл. Проведенное исследование выявило, что максимальное развитие микроорганизмов наблюдалось в поверхностном слое биофильтра (№3). В бассейне с рыбами (№1) также отмечено значительное ОМЧ. Характеристики ОМЧ на разных глубинах биофильтра отражают идущие микробиальные процессы. В верхнем слое биофильтра, в котором загрузка частично

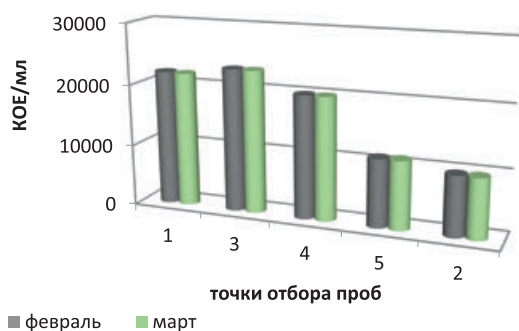


Рисунок 2. Общее микробное число (КОЕ/мл) в бассейне и биофилтре установки замкнутого цикла

Figure 2. Total microbial count (CFU/ml) in the pool and biofilter of a closed-loop installation

выполняет функцию механического фильтра и накапливает взвешенные вещества, отмечаются наибольшие величины ОМЧ (рис. 2). Относительно высокое ОМЧ и в зоне активного перемешивания вод в условиях насыщения воды кислородом (№ 4). Наиболее чистой по величине ОМЧ является слой биофилтра, из которого организован забор воды для бассейна. В нижней его части ОМЧ составило 11054 КОЕ/мл в феврале и 11104 КОЕ/мл в марте. Именно с нижней части биофилтра очищенная вода поступает обратно в бассейн с осетровыми рыбами. Показателями присутствия органических загрязнений являются сапрофитные бактерии. Количество сапрофитных бактерий варьировало от 7492-7504 КОЕ/мл до 21054-21098 КОЕ/мл. Наибольшее их количество отмечено в воде верхней части биофилтра – 21054-21 098 КОЕ/мл, а наименьшее в пробе 1 (вход воды в бассейн из биофилтра) – 7492-7504 КОЕ/мл. В биофилтре количество сапрофитных бактерий уменьшается с увеличением глубины. В нижней части зоны перемешивания загрузки биофилтра их количество составило 9921-9964 КОЕ/мл. Их количественные характеристики в исследованной системе представлены на рисунке 3.

Как видно из данных рисунка 3, наибольшее количество сапрофитных бактерий отмечено в поверхностном слое биофилтра. В литературе отмечалось [17], что в чистых природных водах естественных водоемов сапрофитные бактерии составляют 0,01-0,1% от общего числа бактерий. Нам было интересно посмотреть какую долю (%) составляют сапрофитные бактерии от общего микробного числа в разных зонах биофилтра и бассейне с рыбами. Как видно из представленных данных (рис. 4),

наименьшее соотношение (76,9%) сапрофитных бактерий отмечено в чистой воде, попадающей в бассейн с рыбой после биофилтра (№ 2). Наибольшие соотношения (%) отмечены в поверхностном и нижнем слоях биофилтра. Высокое соотношение сапрофитов от ОМЧ – 89,5% – в бассейне с рыбами.

Количество колиформных бактерий, присутствие которых отражает санитарное состояние вод, в пробах воды установки замкнутого цикла с осетровыми рыбами в феврале-марте представлено на рисунке 5. Количество колиформных бактерий варьировало в феврале от 3987 КОЕ/мл до 11002 КОЕ/мл, а в марте – от 3899 КОЕ/мл до 11000 КОЕ/мл. Наибольшее их значение составило в верхней части

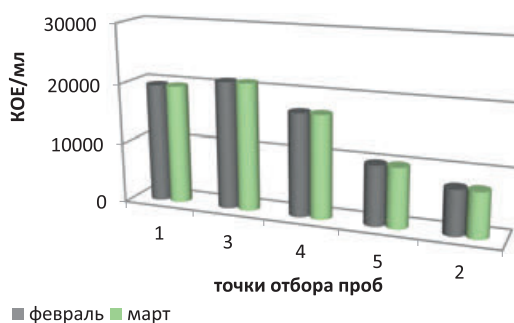


Рисунок 3. Количество сапрофитных бактерий (КОЕ/мл) в бассейне и биофилтре установки замкнутого цикла

Figure 3. Number of saprophytic bacteria (CFU/ml) in the pool and biofilter of a closed-circuit installation

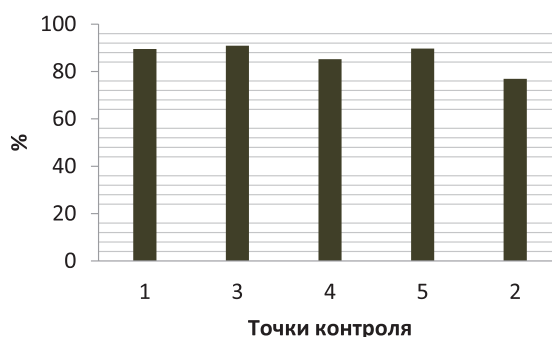


Рисунок 4. Соотношение (%) сапрофитных бактерий (КОЕ/мл) от ОМЧ в бассейне и биофилтре установки замкнутого цикла

Figure 4. Ratio (%) of saprophytic bacteria (CFU/ml) from TMC in the pool and biofilter of a closed-circuit installation

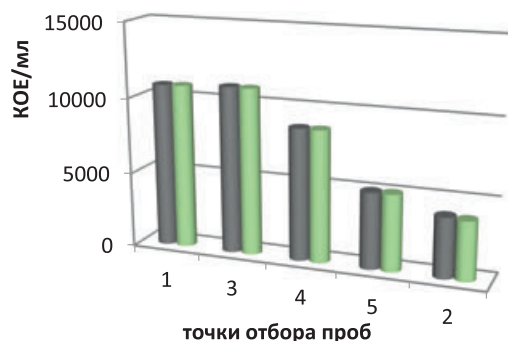


Рисунок 5. Количество колиформных бактерий (КОЕ/мл) в бассейне и биофилтре установки замкнутого цикла

Figure 5. The number of coliform bacteria (CFU/ml) in the pool and biofilter of a closed-circuit installation

биофилтра – 11000 КОЕ/мл, а наименьшее – в чистой воде после биофилтра – 3987-3899 КОЕ/мл.

В биофилтре количество колиформных бактерий снижается с увеличением глубины. Таким образом, наибольшие количественные характеристики микробного сообщества отмечены в поверхностном слое биофилтра, для которого характерно скопление иловых загрязнений на загрузке и хорошее насыщение воды кислородом. Наиболее чистая вода по микробиологическим характеристикам – на входе воды в бассейн с рыбами, выходящей из биофилтра. Интересными являются количественные показатели бактериопланктона, участвующего в процессе очистки вод от азотистых метаболитов рыб. Гумус, остатки корма и экскрементов рыб превращаются в аммиак бактериями аммонификаторами. Их количественные характеристики в исследованной установке с осетровыми рыбами представлены на рисунке 6.

Аммонификаторы первыми вступают процесс разложения органических веществ, в результате чего выделившийся аммиак в при-

сутствии кислорода и под действием нитрифицирующих бактерий окисляется до нитритов. Из данных рисунка 6 видно, что наиболее интенсивно аммонификаторы представлены в бассейне с рыбами, поверхностном слое биофилтра и в зоне активного перемешивания в средней части биофилтра. Нитрифицирующие бактерии завершают превращение органических форм азота, начатое в процессе аммонификации [16]. На первом этапе нитрификации ион аммония окисляется в нитри-ион, затем нитрит-ион в нитрат-ион. Для успешной нитрификации необходима аэрация и pH 5-9. Количественные показатели нитрификаторов – бактерий первого и второго этапов нитрификации, представлены в таблице 1.

Нитрификаторы 1 фазы количественно представлены больше нитрификаторов 2 фазы. Поскольку экспериментальная установка характеризуется относительно малыми объемами и наличием высокой проточности, необходимой для осетровых рыб, наблюдаемая картина распределения нитрификаторов выровненная. Кроме процесса нитрификации может наблюдаться процесс денитрификации,

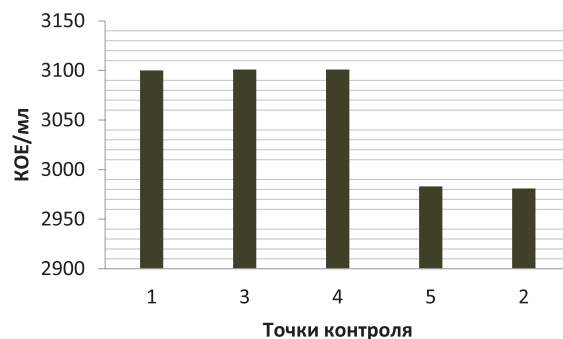


Рисунок 6. Количество аммонифицирующих бактерий (КОЕ/мл) в бассейне и биофилтре установки замкнутого цикла

Figure 6. Number of ammonifying bacteria (CFU/ml) in the pool and biofilter of a closed-circuit installation

Таблица 1. Численность нитрификаторов в установке замкнутого цикла с осетровыми рыбами / **Table 1.** Number of nitrifiers in a closed cycle installation with sturgeon fish

No пробы	Нитрификаторы, КОЕ/мл	
	Первая фаза	Вторая фаза
1	2 410	1 102
2	2 599	1 108
3	2 610	1 110
4	2 607	1 106
5	2 410	1 102

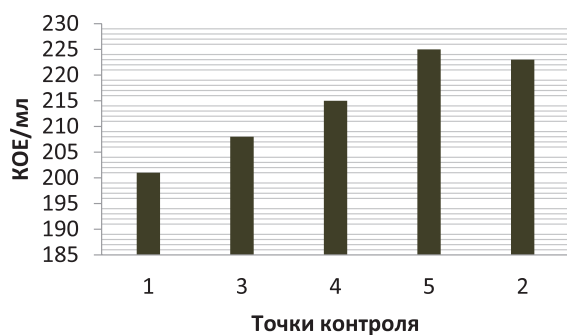


Рисунок 7. Количество бактерий денитрификаторов (КOE/мл) в бассейне и биофилтре установки замкнутого цикла

Figure 7. Number of denitrifying bacteria (CFU/ml) in the pool and biofilter of a closed-circuit installation

в результате которого денитрифицирующие бактерии переводят азотистые соединения в свободный азот. До конечных стадий процесс протекает только в анаэробных условиях. Нам было интересно посмотреть на представленность бактерий денитрификаторов. Количественные показатели денитрификаторов показаны на рисунке 7.

Из данных рисунка 7 видно, что в наиболее аэрируемых участках системы количественно денитрификаторы представлены меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ микробиоценоза установки замкнутого цикла с осетровыми рыбами позволяет сделать вывод о присутствии микробиома, формирующего санитарные характеристики водоемов и бактериопланктона, участвующего в круговороте азота. Выявлено, что в разных слоях биофилтра представленность микроорганизмов различна: наибольшее ОМЧ – в поверхностном слое биофилтра, где собирается фильтруемая загрузкой органика в условиях хорошей аэрации – 23,2 тыс. КОЕ/мл. Аналогичная картина была отмечена у сапрофитных и колиформных бактерий. Обращает на себя внимание, что если в природных водах сапрофитные бактерии составляют 0,01-0,1% от общего числа бактерий, то в условиях установки замкнутого цикла без применения обеззараживающих технологических узлов (УФ-лампы, озонаторы) эти соотношения – 76,9-89,5%. Аммонификаторы, начинающие процесс разложения метаболитов и органических загрязнений наиболее интенсивно представлены в бассейне с рыбами (3,1 тыс. КОЕ/мл), поверхностном слое биофилтра и в зоне активного перемешивания в средней части

биофилтра – зонах наибольшей аэрации. Наблюдаемая картина распределения нитрификаторов была выровненной, а их количество не превышало 2,6 тыс. КОЕ/мл.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: М.Л. Калайда – идея статьи, анализ данных, корректировка текста; Л.К. Говоркова – подготовка обзора литературы, сбор и анализ данных, подготовка статьи; Р.Р. Сафиуллин – подготовка статьи.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: M.L. Kalaida – the idea of the article, data analysis, text correction; L.K. Govorkova – preparation of a literature review, data collection and analysis, preparation of the article; R.R. Safiullin – preparation of the article.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры: достижение целей устойчивого развития 2022 / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – URL: <https://www.fao.org/documents/card/ru/c/CC0461RU> (дата обращения: 20.02.2024).
2. Хохлова Н.Ф. Тенденции развития рыбодовства и рыболовства в России // Вестник МФЮА. 2021. № 4. С. 1096-119.
3. Соколов А.В. Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2019. № 4 С. 36-48.
4. Kalaida M., Khamitova M., Kalaida A., Borisova S., Babikova V. Elements of circular technologies in aquaculture on the waters of energy facilities // E3S Web of Conferences 288. – 01048 (2021). – SUSE-2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801048>.
5. Балашов В.В., Волвенко И.В., Зиланов В.К., Фомин А.В., Яновская Н.В. О потреблении рыбной продукции населением России // Рыбное хозяйство. 2023. №6. С.65-75. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-6-65-75>.
6. Kalaida M., Govorkova L., Khamitova M., Anokhina O., Kalaida A. The role of ichthyopathological observations in the industrial reproduction of sterlet for the tasks of release into the Kuibyshev reservoir // E3S Web of Conferences 288, 01046 (2021) SUSE-2021.
7. Ахмеджанова А.Б., Пономарев С.В., Вятчин В.В., Федоровых Ю.В., Левина О.А., Дутиков Е.А. Оценка биоиндикаторов физиолого-биохимических показателей ремонтно-маточного стада осетровых рыб // Рыбное хозяйство. 2021. №5. С. 97-100. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-5-97-100>.
8. Голубев А.В., Жигин А.В. Аквакультура в зеркале публикационной активности // Рыбное хозяйство. 2021. №2. С.64-67. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-2-64-67>.

9. Abdulkadir A., Abubakar M.I., Abdulkadir O.J. Temporal patterns of physicochemical and bacteria profiles of static aquaculture systems: insights into health hazards for fish and the public // Fawole, Acta Ecologica Sinica. 2023. 421 p.
10. Муньков А.Н., Смирнов А.А. Изучение биологических и экологических особенностей проявления болезней рыб при преподавании курса «Болезни рыб» // Рыбное хозяйство. 2023. №2. С.4-6 <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-2-4-6>.
11. Dahle S.W., Attramadal Kari J.K., Vadstein O., Hestdahl H.I., Bakke I. Microbial community dynamics in a commercial RAS for production of Atlantic salmon fry (*Salmo salar*) // Aquaculture. 2022 Volume 546. 382 p.
12. Дегтярик С., Марцуль О. Болезни – «подводные камни» рыбоводства // Наука и инновации. 2020. №3. С. 24-28.
13. Gomes M. da S.A., Kato L.S., Carvalho Azevedo de A.P., Cardoso de Almeida A.E. Castro, Conte Junior C.A. Sodium replacement on fish meat products – A systematic review of microbiological, physicochemical and sensory effects // Trends in Food Science & Technology. 2021. Volume 118. Part A. Pp 639-657.
14. Лавренчук Л.С., Ермошин А.А. Микробиология: практикум – М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2019. 107 с.
15. Хусанова Н.К., Мамаджанова Ш.С. Методы исследования в микробиологии // Теория и практика современной науки. 2019. №1 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-issledovaniya-v-mikrobiologii> (дата обращения: 13.03.2024).
16. Roveda M., Alves de Menezes C.C., Bolivar-Ramirez N.S., Ovatari M.S., Jatobá A. Acidifying remediation and microbial bioremediation decrease ammoniacal nitrogen, orthophosphates, and total suspended solids levels in intensive Nile tilapia farming under biofloc conditions // Aquaculture. 2024. Volume 580. Part 1. 292 p.
- org/10.37663/0131-6184-2023-6-65-75. (In Rus., abstract in Eng.).
6. Kalaida M., Govorkova L., Khamitova M., Anokhina O., Kalaida A. The role of ichthyopathological observations in industrial reproduction of sterlet for release into the Kuibyshev reservoir // Web conferences E3S 288, 01046 (2021) SUSE-2021.
7. Akhmedzhanova A.B., Ponomarev S.V., Vyatchin V.V., Fedorov Yu.V., Levina O.A., Dutikov E.A. (2021). Assessment of bioindicators of physiological and biochemical parameters of repair and brood stock of sturgeon fish. No. 5. Pp. 97-100. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-5-97-100>. (In Rus., abstract in Eng.).
8. Golubev A.V., Zhigin A.V. (2021). Aquaculture in the mirror of publication activity // Fisheries. No. 2. Pp.64-67. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-2-64-67>. (In Rus., abstract in Eng.).
9. Abdulkadir A., Abubakar M.I., Abdulkadir O.J. (2023). Temporal patterns of physico-chemical and bacteriological profiles of static aquaculture systems: understanding the dangers to fish and public health // Fawole, Acta Ecologica Sinica. 421 p.
10. Munkov A.N., Smirnov A.A. (2023). The study of biological and ecological features of the manifestation of fish diseases in teaching the course “Fish diseases” // Fisheries. No. 2. Pp.4-6 <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-2-4-6>. (In Rus., abstract in Eng.).
11. Dahl S.V., Attramadal Kari J.K., Vadstein O., Hestdal H.I., Bakke I. (2022). Dynamics of the microbial community in a commercial installation for the production of Atlantic salmon fry (*Salmo salar*) // Aquaculture. Volume 546. 382 p.
12. Degtyarik S., Martsul O. (2020). Diseases – the “pitfalls” of fish farming // Science and innovation. No. 3. Pp. 24-28. (In Russ.).
13. Gomez M. da S.A., Kato L.S., Carvalho Azevedo de A.P., Cardoso de Almeida A.E. Castro, Conte Junior S.A. (2021). Sodium substitution in meat and fish products – a systematic review of microbiological, physico-chemical and sensory effects // Trends in food science and technology. Volume 118. Part A. Pp. 639-657.
14. Lavrenchuk L.S., Ermoshin A.A. (2019). Microbiology: a practical course in science and higher education. education grew. Federation, Ural. feder. un-T. Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta. 107 p. (In Russ.).
15. Khusanova N.K., Mamadzhanova S.S. (2019). Research methods in microbiology // Theory and practice of modern science. No. 1 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-issledovaniya-v-mikrobiologii> (date of access: 03/13/2024). (In Russ.).
16. Roveda M., Alves de Menezes K.S., Bolivar-Ramirez N.S., Ovatari M.S., Yatoba A. (2024). Acidifying reclamation and microbiological bioremediation reduce the content of ammonia nitrogen, orthophosphates and total suspended solids when intensive cultivation of Nile tilapia in biofloc conditions // Aquaculture. Volume 580. Part 1. 292 p.

LITERATURE AND SOURCES

1. The state of global fisheries and aquaculture: achieving the 2022 Sustainable Development Goals / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <https://www.fao.org/documents/card/ru/c/CC0461RU> (date of request: 02/20/2024). (In Russ.).
 2. Khokhlova N.F. (2021). Trends in the development of fish farming and fisheries in Russia // Bulletin of the MFUA. No. 4. Pp. 1096-119. (In Russ.).
 3. Sokolov A.V. (2019). The current state and development trends of the Russian fisheries complex // Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex-healthy food products. No. 4, Pp. 36-48. (In Russ.).
 4. Kalaida M., Khamitova M., Kalaida A., Borisova S., Babikova V. Elements of circular technologies in aquaculture in the waters of energy facilities // Web conferences E3S 288. - 01048 (2021). – SUSE-2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801048>.
 5. Balashov V.V., Volvenko I.V., Zilanov V.K., Fomin A.V., Yanovskaya N.V. (2023). On the consumption of fish products by the Russian population / V.V. Balashov, // Fisheries. No. 6. Pp.65-75. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-6-65-75>. (In Rus., abstract in Eng.).
- Материал поступил в редакцию/ Received 15.03.2024
Принят к публикации / Accepted for publication 15.01.2024