

Научная статья

УДК 639.371.7

<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-52-57>

EDN JLMZJB

Выращивание африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в условиях биофлока: сравнительный анализ с установкой замкнутого водоснабжения

Андрей Михайлович Раков[✉],
Юлия Николаевна Грозеску, Александр Николаевич Неваленный

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, rakov_andrey_i@mail.ru[✉]

Аннотация. Рассмотрены особенности выращивания африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в условиях биофлока в сравнении с установкой замкнутого водоснабжения. Эксперимент проводился в течение 30 суток с формированием двух групп рыб по 10 особей в каждой, сопоставимых по исходной массе и физиологическому состоянию. В процессе выращивания осуществлялся регулярный контроль гидрохимических параметров воды, включая температуру, концентрацию растворенного кислорода, содержание аммонийного азота, нитритов, нитратов, а также значение водородного показателя, что позволяло оценить стабильность среды и динамику азотного цикла. Кормление рыб проводилось экструдированным комбикормом с содержанием протеина 42 % и жира 12 % при суточной норме 0,8–1,5 % от общей биомассы, с учетом фактического потребления корма и состояния рыб. Для формирования и поддержания биофлока в рабочем состоянии в опытной группе применялись гетеротрофные бактерии *Bacillus subtilis*, а также органический источник углерода в виде сахара, что обеспечивало поддержание заданного соотношения углерода к азоту и активное развитие микробного сообщества. Полученные данные показали, что в системе биофлока формировался более устойчивый гидрохимический режим, характеризующийся меньшими колебаниями водородного показателя и низкими концентрациями нитритов и нитратов. Статистически достоверные различия были выявлены по ряду гидрохимических показателей, в то время как различия в рыбоводных характеристиках были статистически незначимы. Несмотря на отсутствие выраженного преимущества в приросте, технология биофлока продемонстрировала высокую степень микробной регуляции азотистых соединений и потенциал для устойчивого и ресурсосберегающего ведения аквакультуры. Полученные данные указывают на возможность применения системы биофлока в качестве альтернативного подхода к выращиванию африканского сома.

Ключевые слова: аквакультура, африканский сом, биофлок, биологическая очистка, гидрохимические показатели, кормовые затраты, выращивание рыбы

Для цитирования: Раков А. М., Грозеску Ю. Н., Неваленный А. Н. Выращивание африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в условиях биофлока: сравнительный анализ с установкой замкнутого водоснабжения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2026. № 2. С. 52–57. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-52-57>. EDN JLMZJB.

Original article

Cultivation of African clariate catfish (*Clarias gariepinus*) in biofloc conditions: a comparative analysis with the installation of a closed water supply

Andrey M. Rakov[✉], Yuliya N. Grozesku, Alexander N. Nevalennyu

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, rakov_andrey_i@mail.ru[✉]

Abstract. The article examines the features of African catfish (*Clarias gariepinus*) culture in a biofloc system in comparison with a recirculating aquaculture system. The experiment lasted 30 days and included two groups of fish (10 individuals each) with comparable initial weight and physiological condition. Throughout the rearing period, hydrochemical parameters of the water were regularly monitored, including temperature, dissolved oxygen concentration, ammonium ni-

trogen, nitrite and nitrate levels, as well as pH, which made it possible to assess environmental stability and nitrogen cycle dynamics. Fish were fed an extruded compound feed containing 42% protein and 12% fat at a daily feeding rate of 0.8–1.5% of total biomass, taking into account actual feed intake and fish condition. To establish and maintain the biofloc in the experimental group, heterotrophic bacteria *Bacillus subtilis* and an organic carbon source (sugar) were applied, ensuring the required carbon-to-nitrogen ratio and active development of the microbial community. The results demonstrated that the biofloc system provided a more stable hydrochemical regime, characterized by smaller pH fluctuations, significantly lower nitrite and nitrate concentrations, and higher dissolved oxygen levels. Short-term increases in ammonium nitrogen were episodic and did not have a prolonged impact on the system. Statistical analysis revealed significant differences in several hydrochemical parameters, whereas differences in fish growth rates and feed utilization were not statistically significant. Thus, the use of biofloc technology ensures a stable aquatic environment and effective control of nitrogen transformation processes. Given the comparable productivity indicators, this approach can be considered a promising alternative to conventional water treatment systems in African catfish culture.

Keywords: aquaculture, African catfish, biofloc, biological treatment, hydrochemical parameters, feed conversion ratio, fish farming

For citation: Rakov A. M., Grozesku Yu. N., Nevalenny A. N. Cultivation of African clariate catfish (*Clarias gariepinus*) in biofloc conditions: a comparative analysis with the installation of a closed water supply. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2026;2:52-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-52-57>. EDN JLMZJB.

Введение

Рост численности населения планеты, уже превысившей 8 млрд человек, сопровождается возрастающим спросом на доступные и экологически безопасные источники белка. В условиях исчерпания потенциала вылова дикой рыбы и деградации водных экосистем обеспечение продовольственной безопасности становится одной из ключевых задач глобального масштаба. Аквакультуре отведена важная роль в решении задачи обеспечения населения высококачественным животным белком.

По данным отчета Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) за 2022 г., продукция аквакультуры уже занимает более половины мирового объема производства и потребления рыбы, достигая 56 % от общего объема рыбной продукции. Это связано как с истощением природных рыбных ресурсов, так и с увеличением спроса на рыбу и других гидробионтов. Вместе с тем расширение масштабов аквакультуры сопровождается рядом экологических и технологических ограничений. К числу наиболее значимых относятся ухудшение качества воды вследствие накопления органических и азотсодержащих соединений, повышение водо- и энергопотребления, а также увеличение риска возникновения и распространения инфекционных заболеваний в условиях высокой плотности посадки рыб [1].

В ответ на это активно развиваются ресурсоэффективные технологии, такие как биофлок (Biofloc Technology, BFT). Теоретические и практические основы технологии биофлока были подробно разработаны в работах Y. Avnimelech, который рассматривал управление соотношением углерода и азота как один из ключевых механизмов контроля азотистых соединений в интенсивных рыбоводных системах [2]. Технология получила широкое распространение благодаря возможности минимизировать водообмен за счет ассимиляции азотистых соединений гетеротрофными бактериями [2, 3]. Кроме

того, микробное сообщество гетеротрофных бактерий, которое формируется в биофлоке, не только перерабатывает органические отходы, но и служит дополнительным источником белка для выращиваемых гидробионтов [4].

Современные исследования показывают, что технология биофлока может рассматриваться как один из вариантов интенсификации маловодообменных систем выращивания рыб, в том числе как альтернатива или дополнение к установке замкнутого водоснабжения (УЗВ). В отличие от классической УЗВ, где удаление аммонийного азота в основном обеспечивается биофильтром и процессами нитрификации, в BFT значительная часть азота вовлекается в микробную биомассу за счет поддержания повышенного соотношения C : N. По данным I. Ahmad et al. [5], биофлок-технология основана на регулировании C : N и переводе токсичных азотистых соединений в микробный белок, при этом система может функционировать в режиме нулевого водообмена, а сформированная микробная биомасса выступает дополнительным источником питательных и биоактивных веществ для гидробионтов. Авторы [5] также отмечают пробиотический и иммуностимулирующий потенциал биофлока, связанный с развитием полезной микробиоты и подавлением патогенных микроорганизмов.

В сравнительном эксперименте G. Luo et al. [6] при выращивании тиляпии *Oreochromis niloticus* в течение 87 суток конечная масса рыб в биофлоке была на 22 % выше, общий прирост массы и удельная скорость роста – соответственно на 128 и 112 % выше, а кормовой коэффициент – на 18 % ниже по сравнению с УЗВ; выживаемость рыб в обеих системах составила 100 %. Вместе с тем авторы [6] указывают, что эксплуатация биофлока требует интенсивной аэрации и перемешивания, поскольку поддержание флока во взвешенном состоянии увеличивает потребность системы в кисло-

роде и может повышать энергетические затраты. По данным обзора Г. Г. Матишова с соавторами, использование биофлока потенциально позволяет снизить финансовые затраты на водоподготовку до 30 %, повысить эффективность использования белка корма и сформировать высокобелковый микробный субстрат, который может дополнительно вовлекаться в питание выращиваемых гидробионтов [7]. Таким образом, преимущества биофлока по сравнению с УЗВ связаны не только с возможным повышением продукционных показателей, но и с перераспределением азота в микробную биомассу, снижением водообмена и уменьшением нагрузки на традиционные элементы биологической очистки. Однако эффективность данной технологии зависит от вида рыб, плотности посадки, источника органического углерода, соотношения C : N, режима аэрации и контроля концентрации взвешенных веществ.

Хотя в России данная технология еще мало распространена, интерес к ее изучению и внедрению в практику индустриального рыбоводства постепенно возрастает [8–10].

Несмотря на активное изучение данной технологии, в России до сих пор недостаточно сравнительных исследований, посвященных оценке эффективности биофлока при выращивании рыб, в частности африканского сома, по сравнению с выращиванием в УЗВ.

Целью исследования является оценка эффективности выращивания африканского сома в системе на основе биофлока по сравнению с УЗВ с учетом гидрохимических показателей, темпов роста и кормовых затрат.

Материалы и методы

Исследование проводилось в Инновационном центре «Биоаквапарк – научно-технический центр аквакультуры», расположенном в Астраханском государственном техническом университете, на кафедре «Аквакультура и водные биоресурсы». Основным объектом работы стал африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*), известный своей высокой продуктивностью и способностью выдерживать интенсивные условия содержания.

Для эксперимента выбрали 20 особей африканского клариевого сома, которые затем распределили на две равные группы ($t = 0,688$). Опытная группа имела среднюю массу 809 ± 457 г, а контрольная – 938 ± 301 г. Каждая группа содержалась отдельно, в пластиковых бассейнах с площадью дна 1 м^2 и рабочим объемом $0,5 \text{ м}^3$, при плотности посадки 10 экз./м^2 .

В опытной группе очистка воды проводилась по технологии биофлока, с использованием гетеротрофных бактерий – сенной палочки *Bacillus subtilis* штамма ВКПМ В-10641 (DSM24613). Для активной ассимиляции аммонийного азота бактериями сенной

палочки в воду вносили сахар для поддержания высокого соотношения углерода к азоту (C : N) 10 : 1–15 : 1. В отличие от опытной группы, контрольная группа содержалась в УЗВ, которая состояла из бассейна и внешнего биофильтра, заселенного нитрифицирующими и денитрифицирующими бактериями.

В обеих группах рыб кормили экструдированным комбикормом с содержанием сырого протеина 42 % и жира 12 %; размер гранул составлял 6 мм. Корм вносился дважды в день – утром и вечером, при этом норма подачи корма составляла 0,8–1,5 % от общей биомассы рыб. Продолжительность эксперимента составила 30 суток, на протяжении всего периода ежедневно проводили контроль гидрохимических параметров воды, таких как концентрация растворенного кислорода (O_2), водородный показатель (pH), а также концентрации азотистых соединений: аммиачного азота ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-). Содержание кислорода определяли с помощью портативного оксиметра BLE 9100 согласно инструкции производителя. Аммиак, нитраты, нитриты определяли колориметрическими методами с использованием наборов УНЕ.

Рыбоводно-биологические показатели оценивали на основании индивидуального взвешивания рыб в начале и в конце эксперимента. Абсолютный и среднесуточный прирост массы рассчитывали по общепринятым ихтиологическим методикам [11]. Абсолютный прирост массы рассчитывали как разность между конечной и начальной массой особи:

$$\Delta W = W_k - W_n,$$

где ΔW – абсолютный прирост массы, г; W_k – конечная масса рыбы, г; W_n – начальная масса рыбы, г.

Среднесуточный прирост массы определяли по формуле

$$\text{СП} = (W_k - W_n) / t,$$

где СП – среднесуточный прирост, г/сут; t – продолжительность эксперимента, сут.

Показатель кормовых затрат рассчитывали как отношение массы внесенного корма к полученному приросту биомассы [12, 13]:

$$\text{КЗ} = F / \Delta B,$$

где КЗ – кормовые затраты, г корма/г прироста; F – масса внесенного корма, г; ΔB – прирост общей биомассы рыб, г.

Статистическую обработку данных проводили с определением среднего значения, стандартного отклонения и уровня значимости различий между группами с использованием t -критерия Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$ [14].

Результаты исследования

На протяжении периода выращивания большинство гидрохимических показателей в контрольной и опытной группах находилось в пределах допусти-

мых значений, однако в контрольной группе отмечались отдельные превышения по содержанию нитритов (табл.).

Гидрохимические показатели**Hydrochemical parameters**

Показатель		Контрольная группа	Опытная группа	Рекомендуемые значения по литературным данным
		Среднее значение $\pm \sigma$		
pH	Мин.	6,2	7,2	6,5–8,5 [15]
	Ср. $\pm \sigma$	$7,34 \pm 0,43$	$7,56 \pm 0,14$	
	Макс.	7,6	7,8	
NH ₃ /NH ₄ ⁺ , мг/л	Мин.	0	0	до 0,1 [3]
	Ср. $\pm \sigma$	$0,049 \pm 0,032$	$0,046 \pm 0,061$	
	Макс.	0,09	0,272	
NO ₃ ⁻ , мг/л	Мин.	0	0	до 60 [3]
	Ср. $\pm \sigma$	$6,15 \pm 6,34$	$1,54 \pm 2,15$	
	Макс.	20	5	
NO ₂ ⁻ , мг/л	Мин.	0	0	0,1–0,2 [3]
	Ср. $\pm \sigma$	$0,12 \pm 0,10$	$0,012 \pm 0,029$	
	Макс.	0,4	0,1	
O ₂ , мг/л	Мин.	5	5	4–8 [15]
	Ср. $\pm \sigma$	$5,08 \pm 0,52$	$6,60 \pm 0,77$	
	Макс.	7	8	
Температура, °C	Мин.	18	19	Не менее 18 [15]
	Ср. $\pm \sigma$	$23,2 \pm 1,63$	$23,5 \pm 1,43$	
	Макс.	25	25	

Так, в контрольной группе водородный показатель изменялся в достаточно широком диапазоне – от 6,2 до 7,6, при среднем значении $7,34 \pm 0,43$. В опытной группе колебания были менее выраженными, водородный показатель удерживался в более узком интервале 7,2–7,8 ($7,56 \pm 0,14$). Тест *t*-критерия Стьюдента (*t*-тест) показал статистически достоверные различия в значении водородного показателя между группами при уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($p = 0,0148$).

Концентрация аммонийного азота в среднем в контрольной ($0,049 \pm 0,032$ мг/л) и опытной группе ($0,046 \pm 0,061$ мг/л) была на низком уровне. Однако в опытной группе было отмечено кратковременное повышение содержания аммонийного азота до 0,272 мг/л, что было вызвано несвоевременным внесением источника углерода в систему, в связи с чем было нарушено необходимое соотношение углерода к азоту, необходимого для ассимиляции азота сеной палочкой. После восстановления целевого соотношения углерода к азоту концентрация аммиака быстро снизилась. Различия по концентрации аммонийного азота между группами не были статистически значимыми ($p = 0,8769$).

Более заметные различия были выявлены по содержанию нитритов и нитратов в воде. Концентрация нитритов в контрольной группе колебалась вблизи предельно допустимых значений и местами превышала их (до 0,4 мг/л), тогда как в опытной группе концентрации были на порядок ниже ($0,012 \pm 0,029$ мг/л) и оставались в безопасных пределах,

не превышая 0,1 мг/л. Критерий Стьюдента показал статистическую значимость различий между группами по этому показателю ($p = 0,0033$).

Как и в случае с нитритами, в контрольной группе содержание нитратов было более высоким ($6,15 \pm 6,34$ мг/л) и достигало 20 мг/л. В опытной же группе этот показатель был значительно ниже ($1,54 \pm 2,15$ мг/л) и не превышал 5 мг/л за все время эксперимента. Различия в концентрациях нитрата между группами также были статистически значимы ($p = 0,0012$).

Такая разница обусловлена особенностями трансформации азота в системах, поскольку в опытной системе азот ассимилируется напрямую в биомассу гетеротрофных бактерий, тогда как в контроле основным механизмом удаления аммиака из воды была классическая нитрификация, которая сопровождается последовательной трансформацией аммиака в нитриты, а нитритов в нитраты. При этом процесс нитрификации протекает довольно долго. Кроме того, отсутствие механизмов активного вовлечения нитратов в биомассу бактерий приводит к их постепенному накоплению в системе, что было отражено в более высоких значениях данного показателя в контрольной группе.

Концентрация растворенного кислорода в опытной группе ($6,60 \pm 0,77$ мг/л) была выше по сравнению с контролем ($5,08 \pm 0,52$ мг/л). Проведенный анализ критерия Стьюдента показал статистическую достоверность различий по данному гидрохимическому показателю воды ($p < 0,0001$). Различия в со-

держании кислорода в воде объясняются тем, что вода в опытной системе активно перемешивалась при помощи диффузоров и воздушного компрессора, как того требует технология биофлока для поддержания флора (скоплений гетеротрофных бактерий) во взвешенном состоянии. Однако с учетом того, что клариевый сом на физиологическом уровне способен к воздушному дыханию, различия в концентрации кислорода не могли быть лимитирующим фактором для рыб. Кроме того, не весь растворенный кислород в опытной группе мог быть доступен рыбам, поскольку гетеротрофные бактерии активно дышат и конкурируют с рыбой за кислород. Что касается температуры, то она в обеих группах была сопоставима, средние значения составили $23,2 \pm 1,63$ °C в контрольной и $23,5 \pm 1,43$ °C в опытной группе. Различия между группами не были статистически значимы ($p = 0,6193$).

Анализ средних рыбоводных показателей африканского сома (*Clarias gariepinus*) продемонстрировал сопоставимые результаты выращивания в контрольной и опытной группах. Начальная масса рыб в контрольной группе составила 938 ± 301 г, тогда как в опытной – 809 ± 457 г. Конечная масса достигла $1\,079 \pm 346$ и 936 ± 531 г соответственно. Средний абсолютный прирост массы за период эксперимента составил 142 ± 46 г в контроле и 129 ± 74 г в опыте, а среднесуточный прирост – $5,25 \pm 1,69$ и $4,78 \pm 2,73$ г/сут соответственно. Показатели кормовых затрат оказались практически идентичными – $1,18$ г/г в контроле и $1,17$ г/г в опыте.

Для оценки статистической значимости различий между группами был проведен *t*-тест критерия Стьюдента. Полученные *p*-значения для начальной массы ($p = 0,50$), конечной массы ($p = 0,52$), абсолютного ($p = 0,67$) и среднесуточного ($p = 0,67$) прироста массы свидетельствуют об отсутствии достоверных различий между группами ($p > 0,05$).

Следовательно, отдельные различия в средних зна-

чениях рыбоводных показателей не имели статистически значимого характера, что позволяет рассматривать эффективность роста и использования корма в системе с биофлоком как сопоставимую с УЗВ. Более высокая вариабельность биологических показателей в опытной группе может быть связана с индивидуальной реакцией рыб на микробиологическую составляющую среды и требует дополнительного изучения. Таким образом, система с биофлоком демонстрирует потенциал как альтернативная технология выращивания африканского сома при условии оптимизации условий культивирования.

Заключение

В ходе 30-дневного эксперимента было установлено, что использование технологии биофлока при выращивании африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) позволяет обеспечить стабильные гидрохимические параметры воды с более узкими колебаниями ключевых параметров воды. В опытной группе были зафиксированы статистически достоверно более низкие концентрации нитритов и нитратов по сравнению с контролем благодаря прямой ассимиляции азотистых соединений гетеротрофными бактериями.

При этом показатели продуктивности рыб, такие как абсолютный и среднесуточный прирост массы, а также кормовые затраты в обеих группах, были статистически сопоставимыми ($p > 0,05$). Эти результаты свидетельствуют о том, что технология биофлока не снижает эффективность выращивания и позволяет достигать результатов, сопоставимых с системами УЗВ.

Таким образом, технология биофлока может рассматриваться как перспективная альтернатива традиционным системам биологической очистки воды за счет стабильного гидрохимического режима, снижения накопления нитритов и нитратов, а также потенциального уменьшения капитальных затрат на систему очистки воды.

Список источников

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome: FAO, 2022. 256 p.
2. Avnimelech Y. Biofloc Technology: A Practical Guide Book. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2015. 258 p.
3. Boyd C. E., Tucker C. S. Handbook for Aquaculture Water Quality. NY: Springer, 2014. 439 p.
4. Crab R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges // Aquaculture. 2012. V. 356–357. P. 351–356.
5. Ahmad I., Rani A. M. B., Verma A. K., Maqsood M. Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition // Aquaculture International. 2017. V. 25. P. 1215–1226. DOI 10.1007/s10499-016-0108-8.
6. Luo G., Gao Q., Wang C., Liu W., Sun D., Li L., Tan H. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system // Aquaculture. 2014. V. 422–423. P. 1–7. DOI 10.1016/j.aquaculture.2013.11.023.
7. Matishov G., Tkacheva I., Medvedeva L., Rudenko A., Yarontovsky V., Nedina N. Using BioFloc Technology to Improve Aquaculture Efficiency // Fishes. 2025. V. 10. N. 4. Article 144. DOI 10.3390/fishes10040144.
8. Яронтовский В. Е. Применение технологии биофлока для биологической очистки воды в промышленном рыбоводстве // Изв. НВ АУК. 2025. № 5 (83). С. 393–402.
9. Матишов Г. Г., Ткачева И. В., Медведева Л. С., Руденко А. Д., Яронтовский В. Е., Недина Н. Д. Оценка биоэкономической эффективности технологий по выращиванию гидробионтов // Вестн. КрасГАУ. 2026. № 1. С. 157–167. DOI 10.36718/1819-4036-2026-1-157-167.
10. Ткачева И. В., Поляхов В. С. Способ водоподготовки для запуска биофлоковой системы на основе пробиотиков с разными композициями // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2019. № 11 (166). С. 60.
11. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб: преимущественно пресноводных. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
12. Пономарев С. В., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А.

Корма и кормление рыб в аквакультуре: учеб. М.: МОРКНИГА, 2013. 417 с.

13. FAO. Use of Fishmeal and Fish Oil in Aquafeeds: Further Thoughts on the Fishmeal Trap. Rome: FAO, 2006. URL: <https://www.fao.org/4/y3781e/y3781e00.htm> (дата обращения: 05.02.2026).

14. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.

15. Huisman E. A., Richter C. J. J. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Hague: Netherlands Ministry for Development Cooperation, 1987. 93 p. URL: <https://edepot.wur.nl/409535> (дата обращения: 05.02.2026).

References

1. FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Rome, FAO, 2022. 256 p.

2. Avnimelech Y. *Biofloc Technology: A Practical Guide Book*. Baton Rouge, The World Aquaculture Society, 2015. 258 p.

3. Boyd C. E., Tucker C. S. *Handbook for Aquaculture Water Quality*. New York, Springer, 2014. 439 p.

4. Crab R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 2012, vol. 356-357, pp. 351-356.

5. Ahmad I., Rani A. M. B., Verma A. K., Maqsood M. Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture International*, 2017, vol. 25, pp. 1215-1226. DOI 10.1007/s10499-016-0108-8.

6. Luo G., Gao Q., Wang C., Liu W., Sun D., Li L., Tan H. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 2014, vol. 422-423, pp. 1-7. DOI 10.1016/j.aquaculture.2013.11.023.

7. Matishov G., Tkacheva I., Medvedeva L., Rudenko A., Yarontovsky V., Nedina N. Using BioFloc Technology to Improve Aquaculture Efficiency. *Fishes*, 2025, vol. 10, no. 4, article 144. DOI 10.3390/fishes10040144.

8. Yarontovskij V. E. Primenenie tekhnologii bioflok dlya biologicheskoy ochistki vody v industrial'nom rybovodstve [Application of bioflok technology for biological water purification in industrial fish farming]. *Izvestiya NV AUK*, 2025, no. 5 (83), pp. 393-402.

9. Matishov G. G., Tkacheva I. V., Medvedeva L. S., Rudenko A. D., Yarontovskij V. E., Nedina N. D. Ocenka

bioekonomicheskoy effektivnosti tekhnologij po vyrashchivaniyu gidrobiontov [Assessment of bioeconomical efficiency of technologies for growing aquatic organisms]. *Vestnik KrasGAU*, 2026, no. 1, pp. 157-167. DOI 10.36718/1819-4036-2026-1-157-167.

10. Tkacheva I. V., Polyahov V. S. Sposob vodopodgotovki dlya zapuska bioflokovoy sistemy na osnove probiotikov s raznymi kompozitsiyami [A method of water treatment for launching a bioflok system based on probiotics with different compositions]. *Rybovodstvo i rybnoe hozhaystvo*, 2019, no. 11 (166), p. 60.

11. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb: preimushchestvenno presnovodnyh* [Guide to the study of fish: mostly freshwater]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1966. 376 p.

12. Ponomarev S. V., Grozesku Yu. N., Bahareva A. A. *Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture: uchebnik* [Fish feed and feeding in aquaculture: textbook]. Moscow, Morkniga Publ., 2013. 417 p.

13. FAO. *Use of Fishmeal and Fish Oil in Aquafeeds: Further Thoughts on the Fishmeal Trap*. Rome, FAO, 2006. Available at: <https://www.fao.org/4/y3781e/y3781e00.htm> (accessed: 05.02.2026).

14. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p.

15. Huisman E. A., Richter C. J. J. *Practical manual for the culture of the African catfish (Clarias gariepinus)*. The Hague: Netherlands Ministry for Development Cooperation, 1987. 93 p. Available at: <https://edepot.wur.nl/409535> (accessed: 05.02.2026).

Статья поступила в редакцию 18.03.2026; одобрена после рецензирования 06.05.2026; принята к публикации 22.05.2026
The article was submitted 18.03.2026; approved after reviewing 06.05.2026; accepted for publication 22.05.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Михайлович Раков – аспирант кафедры аквакультуры и водных биоресурсов; Астраханский государственный технический университет; rakov_andrey_i@mail.ru

Юлия Николаевна Гроzesку – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой аквакультуры и водных биоресурсов; Астраханский государственный технический университет; grozesku@yandex.ru

Александр Николаевич Неваленный – доктор биологических наук, профессор; ректор; Астраханский государственный технический университет; astu@astu.org

Andrey M. Rakov – Postgraduate Student of the Department of Aquaculture and Water Bioresources; Astrakhan State Technical University; rakov_andrey_i@mail.ru

Yuliya N. Grozesku – Doctor of Agricultural Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Aquaculture and Water Bioresources; Astrakhan State Technical University; grozesku@yandex.ru

Alexander N. Nevalenny – Doctor of Biological Sciences, Professor; Rector; Astrakhan State Technical University; astu@astu.org

