

Геннадий Григорьевич Матишов¹, Ирина Васильевна Ткачева²,
Людмила Сергеевна Медведева³, Александр Дмитриевич Руденко⁴,
Василий Евгеньевич Яронтовский⁵, Надежда Дмитриевна Недина⁶

^{1,2,3,4,5,6}Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

¹matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

²tkacheva-irina85@mail.ru

³milla1988@mail.ru

⁴adrudenko@gmail.com

⁵vasiliyaronovskii98@gmail.com

⁶nadyhka1514@gmail.com

ОЦЕНКА БИОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ГИДРОБИОНТОВ

Цель исследования – проведение сравнительного анализа биоэкономической эффективности системы биофлок (BFT) и установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) при выращивании гидробионтов. Задачи: рассмотреть технологические особенности выращивания объектов аквакультуры с использованием технологии биофлок и системы замкнутого водоснабжения; сформировать оценочные таблицы; адаптировать методический инструментарий оценки экономической эффективности для сравнения целесообразности использования каждой технологии в промышленном рыбоводстве. Объект исследования – африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*). Эксперименты проведены в лаборатории «Промышленная аквакультура» Донского государственного технического университета в течение 6 месяцев. Задействовано два рыболовных бассейна объемом 1 м³ каждый, с начальной плотностью посадки 310 особей и средней начальной массой 0,016 кг на особь. В биофлок-системе использовались микроорганизмы *Bacillus velezensis*, кормление осуществлялось каждые 5–6 ч при суточной норме 3–5 % от общей массы рыбы и кормовом коэффициенте 1,3. Методика оценки биоэкономической эффективности адаптирована для сопоставления данных технологий. По результатам 6-месячного цикла конечная средняя масса одной особи сома в биофлок-системе достигла 0,962 кг (выживаемость 98 %), в УЗВ – 0,621 кг (выживаемость 96 %). Ежемесячные совокупные издержки для биофлок-системы составили 36 446,4 руб., что на 37,7 % ниже, чем для УЗВ (58 562,7 руб.). Себестоимость 1 кг выращенной рыбы в биофлок-системе составила 760,89 руб., тогда как в УЗВ – 1 951,57 руб. (в 2,56 раза выше). Затраты на обеспечение 1 % роста массы рыбы в биофлок-системе составили 372,2 руб., что на 46,6 % ниже, чем в УЗВ (697,134 руб.). Биофлок-технология продемонстрировала более высокую биоэкономическую эффективность, обеспечивая лучшие показатели роста гидробионтов при значительно меньших операционных затратах в лабораторных условиях.

Ключевые слова: биоэкономика, аквакультура, биофлок-система, установка замкнутого водоснабжения

Для цитирования: Матишов Г.Г., Ткачева И.В., Медведева Л.С., и др. Оценка биоэкономической эффективности технологий по выращиванию гидробионтов // Вестник КрасГАУ. 2026. № 1. С. 157–167. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-157-167.

Финансирование: исследование проводилось при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2024-528 от 24.04.2024 «На реализацию КНП по приоритетным направлениям научно-технологического развития»). Работа опубликована в рамках субсидии из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ.

Gennady Grigorievich Matishov¹, Irina Vasilievna Tkacheva², Lyudmila Sergeevna Medvedeva³,
Alexander Dmitrievich Rudenko⁴, Vasily Evgenievich Yarontovsky⁵, Nadezhda Dmitrievna Nedina⁶
1,2,3,4,5,6Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

¹matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

²tkacheva-irina85@mail.ru

³milla1988@mail.ru

⁴adrudenko@gmail.com

⁵vasiliyarontovskii98@gmail.com

⁶nadyhka1514@gmail.com

ASSESSMENT OF BIOECONOMIC EFFICIENCY OF HYDROBIONTS CULTIVATION TECHNOLOGIES

*The objective of the study is to conduct a comparative analysis of the bioeconomic efficiency of a biofloc system (BFT) and a recirculating aquaculture system (RAS) for growing aquatic organisms. Objectives: to examine the technological features of growing aquaculture objects using biofloc technology and a recirculating aquaculture system; to create evaluation tables; to adapt a methodological tool for assessing the economic efficiency to compare the feasibility of using each technology in industrial fish farming. The object of the study was the African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). The experiments were conducted in the Industrial Aquaculture Laboratory of the Don State Technical University over a period of 6 months. Two fish-breeding tanks with a volume of 1 m³ each were used, with an initial stocking density of 310 individuals and an average initial weight of 0.016 kg per individual. The biofloc system used *Bacillus velezensis* microorganisms, feeding was carried out every 5–6 hours at a daily rate of 3–5 % of the total fish weight and a feed coefficient of 1.3. The bioeconomic efficiency assessment methodology was adapted to compare these technologies. Based on the results of the 6-month cycle, the final average weight of one catfish individual in the biofloc system reached 0.962 kg (98 % survival rate), while in the RAS it was 0.621 kg (96 % survival rate). The monthly total costs for the biofloc system were 36,446.4 rubles, which is 37.7 % lower than for the RAS (58,562.7 rubles). The cost of 1 kg of fish grown in the biofloc system was 760.89 rubles, while in the RAS it was 1,951.57 rubles (2.56 times higher). The cost of achieving 1 % fish weight gain in a biofloc system was 372.2 rubles, 46.6 % lower than in a recirculating aquaculture system (697.134 rubles). Biofloc technology demonstrated greater bioeconomic efficiency, delivering improved aquatic growth rates with significantly lower operating costs under laboratory conditions.*

Keywords: bioeconomy, aquaculture, biofloc system, recirculating aquaculture system

For citation: Matishov GG, Tkacheva IV, Medvedeva LS, et al. Assessment of bioeconomic efficiency of hydrobionts cultivation technologies. *Bulletin of KSAU*. 2026;(1):157-167. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-157-167.

Funding: the study was conducted with financial support from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2024-528 dated April 24, 2024, On the implementation of the KNP in priority areas of scientific and technological development). This work was published as part of a federal budget subsidy to higher education institutions for the implementation of activities aimed at supporting student research communities.

Введение. Современное общество стремительно развивается, значительно увеличивает численность населения, что приводит к повышению потребления ресурсов, возникновению дополнительной нагрузки на экосистему. Ввиду того, что изъятие запасов превышает потенциалы их восстановления, дальнейшее бесконтрольное использование приведет к существенным последствиям. В связи с чем необходимо найти пути решения данной проблемы и снизить антропогенное воздействие на экосистему.

Одним из возможных решений проблемы является развивающееся направление, известное

как биоэкономика. Она играет важнейшую роль в глобальной стратегии устойчивого развития, ее рассматривают не только как отдельный сектор, но и как мощный инструмент, способный содействовать экономическому прогрессу и решению глобальных экологических проблем. Это направление нацелено на уменьшение негативного воздействия человеческой деятельности на природу, одновременно стремясь к максимизации прибыли [1]. Биоэкономике часто рассматривают как современную экономику природопользования, возникшую на стыке экономики и биологии.

С учетом экономического роста в обществе все чаще используется понятие «биоэкономика», которое имеет несколько распространенных определений. Первое из них состоит в том, что биоэкономика представляет собой социальную категорию, соединяющую эволюционную теорию в биологии с макроэкономикой, применяя эволюционные принципы к экономическому развитию [2]. В другом контексте биоэкономика рассматривается как процесс создания материалов из природных ресурсов для нужд медицины, пищевой индустрии и других производств [3]. И, наконец, существует третье определение, которое показывает, что биоэкономика – это форма экономики, основанная на возобновляемых биологических ресурсах и переработке отходов, предполагающая минимальное влияние на природные ресурсы и наивысшее использование современных технологий [2].

Данные определения взаимосвязаны и могут служить способами реализации биоэкономической стратегии стран в контексте их приоритетных задач и целей. В совокупности биоэкономику охарактеризовывают как рациональное использование биоресурсов, биологических процессов и технологий для устойчивого производства товаров и услуг в экономике. Цели биоэкономической стратегии разных государств определяются на основе доступных природных ресурсов и существующего промышленного производства, а также оценивается потенциал их успешного внедрения. В нашей стране биоэкономика находится на начальной стадии развития, однако обладает огромным потенциалом. Основные цели развития включают: борьбу с изменением климата, создание новых рабочих мест, снижение уровня бедности, рост и развитие ключевых секторов экономики, интеграцию в процессы устойчивого промышленного роста, формирование конкурентоспособной экономики и обеспечение продовольственной безопасности [4, 5].

Россия владеет внушительными запасами ресурсов, в т. ч. огромными лесными массивами, сельскохозяйственными землями, и имеет значительное биологическое многообразие. Однако для реализации природно-ресурсного потенциала требуются серьезные финансовые вложения и системные преобразования. К фундаментальным направлениям развития биоэкономики в России относятся лесная промышленность, сельское хозяйство, биотехнологии, рыболовство и аквакультура.

Наша страна является лидером по запасам лесных ресурсов. Устойчивое управление биологическими ресурсами в рамках биоэкономики поддерживает сохранение биоразнообразия и защиту экосистем благодаря разработке методов устойчивого лесопользования и сохранения генетического разнообразия растений и животных. Совершенствование перерабатывающей промышленности направлено на создание продукции высокого качества из древесины. Примером может служить биопластик, биоэтанол и целлюлоза. Отходы фермерских хозяйств и от заготовки леса преобразуются в ценные продукты, таким образом значительно снижается нагрузка на окружающую среду, количество отходов, а ресурсы используются максимально. Но существует ряд проблем, в частности применяются устаревшие технологии [6].

Устойчивое сельское хозяйство и современные технологии изготовления продуктов питания повышают продовольственную безопасность, тем самым обеспечивают население качественным питанием в долгосрочной перспективе. Развитие биотехнологий представляет собой основной фактор для производства новых продуктов и услуг из биоресурсов. В области рыболовства и аквакультуры Россия обладает огромным потенциалом и стремится к стабильному изготовлению продукции высокого качества. Применение новых технологий выращивания гидробионтов – это важнейший этап развития рыбохозяйственного комплекса интенсивной аквакультуры. Однако новые технологии не всегда подтверждают свою экономическую эффективность, что снижает целесообразность их использования в индустриальных условиях.

Цель исследования – проведение сравнительного анализа биоэкономической эффективности системы биофлока и установки замкнутого водоснабжения (УВЗ) при выращивании гидробионтов.

Задачи: рассмотреть технологические особенности выращивания объектов аквакультуры с использованием технологии биофлока и системы замкнутого водоснабжения; сформировать оценочные таблицы и адаптировать методический инструментарий оценки экономической эффективности для сравнения целесообразности использования каждой технологии в индустриальном рыбоводстве.

Объекты и методы. Исследование проводилось в лаборатории «Индустриальная аквакультура» Донского государственного технического университета. Было использовано два рыбо-

водных бассейна емкостью 1 м³, в которых содержался африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*). Первый бассейн функционировал по классической схеме системы УЗВ, в то время как второй был запущен с использованием современной технологии биофлока. Системы содержания объектов аквакультуры, такие как УЗВ и биофлок, представляют собой различные технологии, каждая из которых имеет свои плюсы и минусы [7–9]. Основное различие между ними связано с управлением отходами и питательными веществами.

В УЗВ вода проходит постоянную очистку и фильтрацию, что способствует снижению уровня отходов и поддержанию высокого качества воды. Этот процесс включает механическую и биологическую фильтрацию с использованием бактерий, а также нередко ультрафиолетовую стерилизацию. Питательные вещества, неусвояемые рыбами, удаляются из системы. Преимущества УЗВ заключаются в возможности высокой плотности посадки рыбы, меньшем загрязнении окружающей среды и уменьшенном потреблении воды по сравнению с традиционными методами. Здесь также лучше контролируются параметры воды. Однако недостатки, такие как высокая стоимость оборудования и

необходимость постоянного мониторинга, значительно усложняют использование этой системы.

Биофлок (BFT) – современная технология, которая позволяет выращивать гидробионты с низкими территориальными и финансовыми издержками. Она используется для развития систем аквакультуры с ограниченным или нулевым водообменом, с высокой плотностью посадки, сильной аэрацией и биотой, способной преобразовывать отходы в корм. Экологически чистая система аквакультуры под названием технология биофлока рассматривается в качестве эффективной альтернативной системы, поскольку питательные вещества могут непрерывно перерабатываться и повторно использоваться. Эта система менее затратная и проще в управлении, но имеет свои ограничения по выбору видов рыб и плотности посадки.

Использование инновационных технологий в любом виде деятельности не всегда удается оценить с экономической точки зрения, уровень затрат при их реализации достаточно высокий [10–12]. Для того чтобы определить, с помощью каких этапов провести оценку эффективности технологий, применяемых в индустриальном рыбоводстве, были изучены различные авторские методики (табл. 1).

Таблица 1

Методики оценки экономической эффективности технологий индустриального рыбоводства
Methods for assessing the economic efficiency of industrial fish farming technologies

Авторы/Источник	Перечень ключевых показателей оценки
Усолов Е.В., Труба А.С., Тюпаков К.Э., Акимов Е.Б. [13]	– комплексная эффективность производства; – объем произведенной продукции; – затраты живого труда; – производительность труда; – среднегодовая стоимость основных производственных фондов; – фондоотдача; – затраты сырья и материалов в течение периода, за который определяется эффективность производства; – материалоотдача
Асылбекова С.Ж., Бадрызлова Н.С., Койшыбаева С.К., Исбеков К.Б. [14]	– стоимость конечного продукта; – калькуляция понесенных затрат; – стоимость 1 шт. используемого рыбопосадочного материала; – размер рыбной продукции, полученной с одного гектара
Литвинова Т.Г., Кондратьев Д.В. [15]	– объем производства товарной продукции; – себестоимость 1 кг товарной рыбы; – средний штучный вес рыбы; – доля затрат на корм в структуре себестоимости; – прибыль от реализации товарной продукции
Зимин Н.Е., Акимов Е.Б., Акимов Б.Н., Федяев В.Е. [16, 17]	– производительность труда; – фондоотдача; – материалоотдача

Основным показателем, который позволяет оценить экономическую эффективность, по мнению ученых, остаются затраты, которые были понесены при производственном процессе рыбоводства. При этом эффект может быть рассчитан путем сопоставления затрат и предполагаемой цены реализации продукции [18].

В рамках данного исследования предложена авторская методика оценки биоэкономической эффективности использования технологий по выращиванию гидробионтов в области индустриального рыбоводства (рис.). Этапы данного методического инструментария адаптированы под технологические процессы замкнутого водоснабжения и технологии биофлока и ранее не использовались учеными с целью оценки биоэкономической эффективности при производственных процессах рыбоводства.

Представленная методика:

- основывается на исходных данных, полученных в экспериментальных условиях лаборатории, которые специфичны для двух разных технологий;

- предполагает полный цикл расчета затрат по каждой технологии с учетом роста массы рыбы и возможных потерь конечного продукта;

- позволяет определить экономическую эффективность производственного цикла по каждой технологии и провести сравнительный анализ.

Для проведения оценки эффективности необходимо представить совокупные затраты по технологиям, а также проанализировать показатели эффективности выращивания рыб. Для оценки использовано два рыбоводных бассейна емкостью 1 м³, затраты по двум техно-

логиям адаптированы под данную площадь, что позволяет считать выборку по показателям репрезентативной. Эксперименты проведены в лаборатории «Индустриальная аквакультура» Донского государственного технического университета в течение 6 мес. Задействовано два рыбоводных бассейна объемом 1 м³ каждый, с начальной плотностью посадки 310 особей и средней начальной массой 0,016 кг на особь.

В технологии биофлока использовались микроорганизмы *Bacillus velezensis*, стоимость 1 кг пробиотика – 380 руб. (однако в условиях стабильно работающей системы данные расходы не требуются, так как бактерии имеют свойства самостоятельного размножения). Кормовой коэффициент – 1,3, кормление осуществлялось каждые 5–6 ч, суточная норма кормления – 3–5 % от общей массы рыбы. Сом в биофлоке потребляет около 1–2 % флотовых хлопьев от суточной нормы кормления. Питательность корма: протеин – 38–45 %, жир – 8–9 %. Срок службы оборудования при двух технологиях составляет 5 лет.

Прежде чем перейти к экономической оценке эффективности технологий, необходимо представить количественные параметры динамики массовых характеристик клариевого сома при выращивании в УЗВ (контроль) и в биофлоке (опыт) (табл. 2).

В таблице 3 рассмотрим показатели технологии биофлока.

Набор показателей в двух сравниваемых технологиях разный, в рамках использования установки замкнутого водоснабжения представлена совокупность данных в таблице 4.



Этапы оценки экономической эффективности технологий индустриального рыбоводства [7, 8]
 Stages of assessing the economic efficiency of industrial fish farming technologies [7, 8]

Таблица 2

Динамика массовых характеристик клариевого сома
Dynamics of mass characteristics of the catfish

Показатель	Контроль		Опыт	
	Исходное состояние	265 сут	Исходное состояние	265 суток
Масса, г	248,27±16,04	1639,52±300	304,37±12,36	1711,52±240
Абсолютный прирост, г		1391,25		1407,15
Среднесуточный прирост, г/сут		5,25		5,31
Среднесуточная скорость роста, %		0,5		0,54
Коэффициент массонакопления, ед.		0,05		0,05

Таблица 3

Исходные данные для проведения оценки по технологии биофлока
Initial data for the bioflok technology assessment

Показатель	Значение
Стоимость оборудования, руб.	40.000
Потребление бактерий в месяц, г	22
Стоимость 1 г бактерий, руб.	0,2
Среднее потребление корма в месяц, кг	47,5
Стоимость приобретения 1 кг корма, руб.	240
Начальный вес 1 особи (среднее значение), кг	0,016
Конечный вес 1 особи (среднее значение), кг	0,962
Срок нахождения рыбы в бассейне, мес.	6
Площадь и объем резервуаров, м ³	1
Количество рыб в одном резервуаре, шт.	310
% выживаемости рыб, %	98
Стоимость приобретения одной рыбы, руб.	192
Потребление воды в месяц, м ³	1,5
Стоимость 1 м ³ воды, руб.	54
Количество рабочих часов с резервуаром в месяц, ч	31
Оплата 1 часа работника, руб.	305
Стоимость потребления электроэнергии в час, руб.	7

Таблица 4

Исходные показатели при использовании установки замкнутого водоснабжения
Baseline values when using a closed-circuit water supply system

Показатель	Значение
Стоимость оборудования, руб.	450.000
Среднее потребление корма в месяц, кг	58
Стоимость приобретения 1 кг корма, руб.	240
Начальный вес 1 особи (среднее значение), кг	0,016
Конечный вес 1 особи (среднее значение), кг	0,621
Срок нахождения рыбы в бассейне, мес.	6
Площадь и объем резервуаров, м ³	1
Количество рыб в одном резервуаре, шт.	310
Процент выживаемости рыб, %	96
Стоимость приобретения одной рыбы, руб.	192
Потребление воды в месяц, м ³	2,17
Стоимость 1 м ³ воды, руб.	54
Количество рабочих часов с резервуаром в месяц, ч	31
Оплата 1 часа работника, руб.	305
Потребление электроэнергии оборудованием в час	20,8
Частота смены фильтров и их стоимость	65 000 руб., меняется раз в 5 лет, каждый месяц промываются водой
Потребление электроэнергии освещением в час, руб.	2,21

Исходя из собранных данных, полученных во время экспериментального выращивания в ограниченном по площади помещении лаборатории, имеется возможность осуществить расчет

следующих показателей (расчет на площадь 100 м² для целей индустриального выращивания объектов аквакультуры требует дополнительных исследований на реальном полигоне):

– общие или совокупные издержки (ТС) в месяц технологии биофлока (1) и установки замкнутого водоснабжения (2) – данный показатель

$$TC = \frac{40000}{5 \cdot 12} + 22 \cdot 0,2 + 47,5 \cdot 240 + \frac{310 \cdot 192}{6} + 1,5 \cdot 54 + 31 \cdot 305 + 7 \cdot 24 \cdot 30 = 36446,4 \text{ руб.} \quad (1)$$

$$TC = \frac{450000}{5 \cdot 12} + 58 \cdot 240 + \frac{310 \cdot 192}{6} + 2,17 \cdot 54 + 31 \cdot 305 + (20,8 + 2,21) \cdot 24 \cdot 30 + \frac{65000}{5 \cdot 12} = 58562,7 \text{ руб.}; \quad (2)$$

– совокупные издержки (ТС) за 6 месяцев (следовательно, у системы BFT и установки замкнутого водоснабжения составят 218 678,4 и 351 376,3 руб. соответственно), которые показывают себестоимость полного цикла производства;

– средняя стоимость 1 м³ (СС) воды в месяц при использовании биофлока (3) и замкнутого водоснабжения (4) необходима не столько для сравнения затрат потребления воды, а сколько для вычисления потребления воды (главная среда выращивания) для получения урожая при разных технологиях выращивания

$$CC = \frac{36446,4}{1,5} = 24297,6 \text{ руб.} \quad (3)$$

$$CC = \frac{58562,713}{2,17} \approx 26987,9 \text{ руб.}; \quad (4)$$

– стоимость выращенного 1 кг (С) рыбы за весь цикл с помощью технологии биофлока и установки замкнутого водоснабжения представлена формулами (5) и (6) соответственно – рассчитывается из себестоимости полного цикла производства, деленной на массу выживших рыб с урожая, чтобы определить себестоимость урожая с 1 кг

$$C = \frac{218678,4}{(0,962 - 0,016) \cdot 310 \cdot 0,98} \approx 760,89 \text{ руб.} \quad (5)$$

$$C = \frac{351376,28}{(0,621 - 0,016) \cdot 310 \cdot 0,96} \approx 1951,57 \text{ руб.}; \quad (6)$$

– средний сложный процент (СС %) роста массы рыбы высчитывается схожим образом для двух технологий с использованием формулы (7), так как необходимо среднее процентное соотношение параметров рыбы от месяца к месяцу, которое возможно получить только дробной степенью, с помощью нее получаем показатель роста массы рыбы для системы биофлока – 97,93 %, а при использовании технологии замкнутого водоснабжения – 84 %;

$$CC \% = \left(\left(\frac{\text{конечная масса}}{\text{начальная масса}} \right)^{\frac{1}{6}} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (7)$$

высчитывается суммой всех ежемесячных расходов, которые включают амортизационные отчисления

– затраты (3) на 1 % роста массы рыбы с использованием бактерий (8) и водоснабжения (9) – демонстрируют необходимое количество затрат в месяц на рост рыбы на 1 % от предыдущего месяца

$$3 = \frac{TC - 36446,4}{CC \% - 97,929} = 372,2 \text{ руб.} \quad (8)$$

$$3 = \frac{TC - 58562,713}{CC \% - 84,005} = 697,134 \text{ руб.} \quad (9)$$

Представленные экономические расчеты позволяют сделать следующие выводы:

– в среднем ежемесячные издержки с использованием технологии биофлока ниже, чем технологии замкнутого водоснабжения, на 63 %;

– использование бактерий обеспечивает снижение затрат на воду и электроэнергию;

– в индустриальном рыбоводстве важно достичь снижения себестоимости конечного продукта, что быстрее достигается посредством использования технологии биофлока;

– производителям необходимо на 90,8 % меньше денежных ресурсов (за счет минимизации затрат на системах фильтрации) для обеспечения роста рыб при помощи их кормления бактериями при технологии биофлока.

Ввиду того, что экономическая эффективность рассмотренных технологий доказана в настоящее время только в условиях экспериментальной лаборатории, говорить о возможности повсеместного замещения установок замкнутого водоснабжения в индустриальном рыбоводстве не следует. Однако дальнейшие исследования в данной области и проведение прикладной оценки уже на более масштабных полигонах позволят технологии биофлока активнее внедряться в производственные процессы.

Заключение. Проведенный в исследовании экономический анализ эффективности демонстрирует значительное преимущество технологии биофлока перед системами замкнутого водоснабжения, что позволяет сделать вывод о том, что ее дальнейшее развитие позволит в значительной степени модернизировать всю отрасль индустриального рыбоводства.

Развитие биоэкономики в стране представляет непростую задачу, требующую всестороннего подхода и объединения государства, а также сообществ бизнеса и науки. Для успешного развития биоэкономики в России необходимо решить ряд вопросов: недостаток финансирования, отсутствие развитой инфраструктуры, дефицит кадров в области биоэкономики, нормативно-правовая база. Развитие биоэкономики обеспечивает население новыми рабочими местами в различных отраслях промышленности, что существенно повышает экономический рост и диверсификацию экономики. Биоэкономика является неотделимой частью стратегии устойчивого развития, предлагая инновационные методы для решения глобальных проблем и создания надежного и благоприятного будущего. Тем не менее ее успешная реализация требует согласованных усилий на национальном и международном уровнях.

По итогам экспериментов установлено, что конечная средняя масса одной особи сома в системе биофлока составила $(1\,711,52 \pm 240)$ г при среднесуточном приросте 5,31 г/сут, тогда как в установке замкнутого водоснабжения эти показатели составили $(1\,639,52 \pm 300)$ г и 5,25 г/сут соответственно.

Адаптированная методика оценки биоэкономической эффективности выявила существенные различия в затратах. Ежемесячные совокупные издержки для технологии биофлока составили 36 446,4 руб., что на 63 % ниже, чем для установки замкнутого водоснабжения (58 562,7 руб.). Себестоимость 1 кг выращенной рыбы в биофлок-системе составила приблизительно 760,89 руб., тогда как в установке замкнутого водоснабжения — 1 951,57 руб. Кроме того, затраты на обеспечение 1 % роста массы рыбы оказались значительно ниже в биофлок-системе (372,2 руб.) по сравнению с установкой замкнутого водоснабжения (697,134 руб.). Эти данные показывают, что технология биофлока обеспечивает снижение финансовых ресурсов на 90,8 % для обеспечения роста рыб.

Таким образом, технология биофлока демонстрирует высокую биоэкономическую эффективность в сравнении с традиционными системами замкнутого водоснабжения, предлагая более низкие операционные затраты при сопоставимых или лучших показателях роста гидробионтов. Учитывая лабораторный масштаб исследований, дальнейшие прикладные испытания на крупных производственных полигонах необходимы для подтверждения полученных результатов и активного внедрения биофлок-технологии в индустриальное рыбоводство.

Список источников

1. Ronzon T., Piotrowski S., Tamosiunas S., et al. Developments of Economic Growth and Employment in Bioeconomy Sectors across the EU // Sustainability, MDPI. 2020. Vol. 12, N 11. P. 1–13.
2. Бобылев С.Н., Михайлова С.Ю., Кирюшин П.А. Биоэкономика: проблемы становления // Экономика. Налоги. Право. 2014. № 6. С. 20–25.
3. Акканина Н.В., Романюк М.А. Биоэкономика – экономика нового технологического уклада // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5 (47). С. 11–16.
4. Гордеева И.В. Биоэкономика как одно из стратегических направлений устойчивого развития // Научное обозрение. Экономические науки. 2019. № 1. С. 16–21.
5. Скрынникова Т.И., Кузнецова М.И., Спиридонова Г.В. Биоэкономика – драйвер современной экономики // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2020. № 4 (28). С. 49–59.
6. Набатова А., Тачмухаммедова С. Развития биоэкономики в современном мире // Вестник науки. 2024. № 4 (70). С. 39–42.
7. Ярош О.Б., Кобечинская В.Г. Перспективы развития аквакультурного хозяйства в республике Крым на принципах биоэкономики // Экономика строительства и природопользования. 2020. № 2 (75). С. 24–33.
8. Tkacheva I.V., Neidorf A.R., Kokhanov Yu.B., et al. Research of the Possibility of Improving the Aquatic Environment with Probiotics in the Keeping of Golden Malawi Cichlid (*Melanochromis Aурatus*). In: XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022", Rostov-na-Donu, 25–27 May 2022. Vol. 574. Springer: Springer, 2023. P. 3228–3238. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5_357.
9. McCusker S., Warberg M.B., Davies S.J., et al. Biofloc technology as part of a sustainable aquaculture system: A review on the status and innovations for its expansion // Aquaculture, Fish and Fisheries. 2023. P. 1–22. DOI: 10.1002/aff2.108.

10. Низяев С.А., Латковская Е.М., Ревин Ю.А. Использование биофлок-технологии при подращивании гидробионтов на базе установок замкнутого водоснабжения: возможности применения технологии в условиях Дальнего Востока России // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67. № 1. С. 96–115. DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2024-67-09.
11. Enyindah C., Etuk M., Anwuri P.A. The role of technology on aquaculture. *Academia Letters*. 2021. N. 2304. DOI: 10.20935/AL2304.
12. Semwal A., Kumar A., Upreti U., et al. Biofloc technology: An emerging avenue in aquaculture // *Agri-IndiaToday*. 2021. Vol. 1, N 4. P. 19–23.
13. Усолов Е.В., Труба А.С., Тюпаков К.Э., et al. Интегральная оценка экономической эффективности товарного рыбоводства // Труды ВНИРО. 2024. № 197. С.165–169. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-197-165-169.
14. Асылбекова С.Ж., Бадрызлова Н.С., Койшыбаева С.К., et al. Экономическая эффективность формирования ремонтно-маточного стада судака на рыбоводных хозяйствах Казахстана // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2020. № 2. С. 106–115. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-106-115.
15. Литвинова Т.Г., Кондратьев Д.В. Повышение экономической эффективности рыбоводства на основе оптимизации кормового рациона (на примере ГУП «Рыбхоз «Пихтовка» Удмуртской Республики) // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18, № 20. С. 3083–3096. DOI: 10.18334/rp.18.20.38436.
16. Зимин Н.Е., Акимов Е.Б., Акимов Б.Н., и др. Резервы повышения эффективности товарного рыбоводства. М.: Триада. 2015. 64 с.
17. Зимин Н.Е., Акимов Е.Б. Диагностика экономической эффективности концентрации производства в товарном рыбоводстве // Международный технико-экономический журнал. 2014. № 6. С. 37–43.
18. Молчанова К.А., Курапова Т.М. Оценка экономической эффективности различных технологий выращивания форели и других объектов индустриального рыбоводства. В сб.: Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 85-летию Татарского отделения ГОСНИОРХ «Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования». (Казань, 24–29 октября 2016 г.). Казань, 2016. С. 728–731.

References

1. Ronzon T, Piotrowski S, Tamosiunas S, et al. Developments of Economic Growth and Employment in Bioeconomy Sectors across the EU. *Sustainability, MDPI*. 2020;12(11):1-13.
2. Bobylev SN, Mikhailova SYu, Kiryushin PA. Bioeconomics: Problems of Formation. *Economics. Taxes. Law*. 2014;6:20-25.
3. Akkanina NV, Romanyuk MA. Bioeconomics – the Economy of a New Technological Paradigm. *International Research Journal*. 2016;5:11-16.
4. Gordeeva IV. Bioekonomika kak odno iz strategicheskikh napravlenij ustojchivogo razvitiya. *Nauchnoe obozrenie. Ekonomicheskie nauki*. 2019;1:16-21.
5. Skrynnikova TI, Kuznecova M.I., Spiridonova G.V. Bioekonomika – drayver sovremennoj ekonomiki. *Ekonomicheskie i social'no-gumanitarnye issledovaniya*. 2020;4:49-59.
6. Nabatova A, Tachmuhammedova S. Razvitiyabioekonomiki v sovremennom mire. *Vestniknauki*. 2024;4:39-42.
7. Yarosh OB, Kobechinskaya VG. Perspektivy razvitiya akvakul'turnogo hozyajstva v respublike Krym na principah bioekonomiki. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2020;2:24-33.
8. Tkacheva IV, Neidorf AR, Kokhanov YuB, et al. Research of the Possibility of Improving the Aquatic Environment with Probiotics in the Keeping of Golden Malawi Cichlid (*Melanochromis Auratus*). In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"*, Rostov-na-Donu, 25–27 May 2022. Vol. 574. Springer: Springer, 2023. P. 3228–3238. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5_357.
9. McCusker S, Warberg MB, Davies SJ, et al. Biofloc technology as part of a sustainable aquaculture system: A review on the status and innovations for its expansion. *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2023;00:1-22. DOI: 10.1002/aff2.108.

10. Nizyaev SA, Latkovskaya EM, Revin YA. The use of bioflock technology in the cultivation of aquatic organisms on the basis of recirculating water supply installations: the possibilities of using the technology in the conditions of the Russian Far East. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024;67(1):96-115. (In Russ.).
11. Enyindah C, Etuk M, Anwuri PA. The role of technology on aquaculture. *Academia Letters*. 2021;2304. DOI: 10.20935/AL2304.
12. Semwal A, Kumar A, Upreti U, et al. Biofloc technology: An emerging avenue in aquaculture. *AgrilIndia Today*. 2021;1(4):19-23.
13. Usolov EV, Truba AS, Tyupakov KE, et al. Integral'naya ocenka ekonomicheskoy effektivnosti tovarnogo rybovodstva. *Trudy VNIRO*. 2024;197:165-169. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-197-165-169.
14. Asylbekova SZh, Badryzlova NS, Kojshybaeva SK, et al. Ekonomicheskaya effektivnost' formirovaniya remontno-matochnogo stada sudaka na rybovodnyh hozyajstvakh Kazakhstana. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*. 2020;2:106-115. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-106-115.
15. Litvinova TG, Kondrat'ev DV. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti rybovodstva na osnove optimizatsii kormovogo raciona (naprimere GUP «Rybhov «Pihtovka» Udmurtskoj Respubliki). *Rossiiskoe predprinimatel'stvo*. 2017;18(20):3083-3096. DOI: 10.18334/rp.18.20.38436.
16. Zimin NE, Akimov EB, Akimov BN, et al. Rezervy povysheniya effektivnosti tovarnogo rybovodstva. Moscow: Triada; 2015. 64 p.
17. Zimin NE, Akimov EB. Diagnostika ekonomicheskoy effektivnosti koncentracii proizvodstva v tovarnom rybovodstve. *Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*. 2014;6:37-43.
18. Molchanova KA, Kurapova TM. Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti razlichnyh tekhnologij vyrashchivaniya foreli i drugih ob'ektov industrial'nogo rybovodstva In: Vserossiyskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 85-letiyu Tatarskogo otdeleniya GOSNIORH "Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoyomov i puti ih racional'nogo ispol'zovaniya" (Kazan', 24–29 Oct 2016). Kazan'; 2016. P. 728–731.

Статья принята к публикации 16.10.2025 / The article accepted for publication 16.10.2025.

Информация об авторах:

Геннадий Григорьевич Матишов¹, заведующий кафедрой технических средств аквакультуры, доктор географических наук, академик

Ирина Васильевна Ткачева², профессор кафедры технических средств аквакультуры, доктор биологических наук, доцент

Людмила Сергеевна Медведева³, доцент кафедры экономики и менеджмента, кандидат экономических наук, доцент

Александр Дмитриевич Руденко⁴, студент

Василий Евгеньевич Яронтовский⁵, аспирант кафедры технических средств аквакультуры

Надежда Дмитриевна Недина⁶, магистрант

Information about the authors:

Gennady Grigorievich Matishov¹, Head of the Department of Technical Means of Aquaculture, Doctor of Geographical Sciences, Academician

Irina Vasilievna Tkacheva², Professor at the Department of Technical Means of Aquaculture, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

Lyudmila Sergeevna Medvedeva³, Associate Professor at the Department of Economics and Management, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Alexander Dmitrievich Rudenko⁴, student

Vasily Evgenievich Yarontovsky⁵, Postgraduate student at the Department of Technical Means of Aquaculture

Nadezhda Dmitrievna Nedina⁶, Master's student