

ТОВАРНАЯ АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ГИДРОБИОНТОВ

COMMODITY AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION OF HYDROBIONTS

Научная статья

УДК 639.512

<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-34-44>

EDN JTVZJD

Оценка эффективности применения альтернативного источника белка при выращивании пресноводной креветки

**С. В. Пономарев^{1✉}, О. А. Левина², Ю. В. Федоровых³,
Н. В. Терганова⁴, П. А. Нюньков⁵, А. Б. Ахмеджанова⁶**

^{1-4, 6} Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, ya.papata2011@yandex.ru ✉

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –
МВА имени К. И. Скрябина,
Москва, Россия

⁵ООО «Гидробиосинтез»,
Москва, Россия

Аннотация. Значительный интерес для рыбохозяйственной отрасли в настоящее время представляет удовлетворение спроса на качественные функциональные рыбные корма с учетом успешного их импортозамещения. Дефицит белкового сырья высокого качества негативно влияет на кормопроизводство, снижая объемы производства полноценных комбикормов. Для частичной замены рыбной муки в качестве альтернативного источника белка возможно применение в составе кормов продуктов микробиологического синтеза. Основное преимущество данного компонента – в более высокой скорости накопления биомассы микроорганизмов по сравнению с растениями и животными. Изучение белковых продуктов биосинтеза как кормовых компонентов необходимо обосновать с точки зрения экономической целесообразности и возможности их включения в кормовую базу гидробионтов. Это позволит стимулировать развитие аквакультуры и увеличить объемы интенсивных форм рыбоводства. В ходе научно-исследовательской работы была проведена частичная замена рыбной муки в стартовом (20,0 %) и продукционном (15,0 %) комбикорме для молоди креветки Розенберга на белковую кормовую добавку DREAMFEED®, представляющую собой концентрат микробного белка *Methylococcus capsulatus*. Анализ питательной ценности комбикормов показал, что комбикорм с кормовой белковой добавкой DREAMFEED® имел содержание белка 67,01–67,34 % и энергии 20,1–20,5 МДж/кг. Более высокий темп роста показала опытная группа, потреблявшая корм с заменой рыбной муки на кормовую добавку DREAMFEED®. Абсолютный прирост составил 17,53 и 14,53 г у опытной и контрольной групп соответственно. За весь период исследования выживаемость в опытном варианте составила 89,0 %. В контрольном варианте выживаемость не превысила 82,0 %. В результате анализа минерального состава печени, мышц и панциря культивируемых креветок установлено, что во всех исследуемых образцах присутствует К. Наибольшее количество К зафиксировано в мышцах креветок контрольной группы – $14\,996 \pm 150$ мг/кг, при $14\,867 \pm 135$ мг/кг у опытной группы. Наименьшее количество К зафиксировано в образцах печени опытной группы – $5\,049 \pm 254$ мг/кг, при $6\,520 \pm 221,0$ мг/кг у креветок контрольной группы.

Ключевые слова: белок, добавка, микроорганизмы, прирост, физиология, кормление, креветка

Благодарность: исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 25-16-00020 «Разработка инновационных технологических подходов к использованию альтернативного источника белка (сухая биомасса микроорганизмов – бактерий метанотрофов) в условиях высокоинтенсивного индустриального аквакультуры».

Для цитирования: Пономарев С. В., Левина О. А., Федоровых Ю. В., Терганова Н. В., Ниунков П. А., Ахмеджанова А. Б. Оценка эффективности применения альтернативного источника белка при выращивании пресноводной креветки // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 4. С. 34–44. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-34-44>. EDN JTVZJD.

Original article

Evaluation of the effectiveness of using an alternative protein source in freshwater shrimp farming

S. V. Ponomarev^{1✉}, O. A. Levina², Yu. V. Fedorovykh³,
N. V. Terganova⁴, P. A. Niunkov⁵, A. B. Akhmedzhanova⁶

^{1-4, 6}Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, ya.panama2011@yandex.ru✉

¹Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin,
Moscow, Russia

⁵Giprobiosintez, LLC,
Moscow, Russia

Abstract. Meeting the demand for high-quality functional fish feeds, taking into account their successful import substitution, is currently of great interest to the fisheries industry. The shortage of high-quality protein raw materials negatively affects feed production, reducing the production of full-fledged compound feeds. To partially replace fish meal, microbiological synthesis products can be used as an alternative protein source. The main advantage of this component is a higher rate of accumulation of microbial biomass compared to plants and animals. The study of protein biosynthetic products as feed components must be justified from the point of view of feasibility and economic feasibility. This will stimulate the development of aquaculture and increase the volume of intensive forms of fish farming. In the course of the research, fish meal was partially replaced in the starter (20.0%) and production (15.0%) feed for juvenile Rosenberg shrimp with the protein feed additive DREAMFEED®, which is a concentrate of the microbial protein *Methylococcus capsulatus*. The analysis of the nutritional value of compound feeds showed that compound feed with the feed protein additive DREAMFEED® had a protein content of 67.01-67.34% and energy of 20.1-20.5 MJ/kg. The higher growth rate was shown by the experimental group that consumed feed with the replacement of fish meal with the feed additive DREAMFEED®. The absolute increase was 17.53 and 14.53 g in the experimental and control groups, respectively. During the entire study period, the survival rate in the experimental version was 89.0%. In the control case, the survival rate did not exceed 82.0%. As a result of the analysis of the mineral composition of the liver, muscles and shell of cultured shrimps, it was found that K is present in all the studied samples. The largest amount of K was recorded in the muscles of the shrimp of the control group – $14\,996 \pm 150$ mg/kg, compared to $14\,867 \pm 135$ mg/kg in the experimental group. The lowest amount of K was recorded in the liver samples of the experimental group – $5\,049 \pm 254$ mg/kg, with $6\,520 \pm 221.0$ mg/kg in the shrimp of the control group.

Keywords: protein, supplement, microorganisms, growth, physiology, feeding, shrimp

Acknowledgements: the research was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 25-16-00020 “Development of innovative technological approaches to the use of an alternative protein source (dry biomass of microorganisms, bacteria, methanotrophs) in a highly intensive industrial aquatic economy”.

For citation: Ponomarev S. V., Levina O. A., Fedorovykh Yu. V., Terganova N. V., Niunkov P. A., Akhmedzhanova A. B. Evaluation of the effectiveness of using an alternative protein source in freshwater shrimp farming. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2025;4:34-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-34-44>. EDN JTVZJD.

Введение

В настоящее время на фоне интенсивного роста товарной аквакультуры, развития кормопроизводства и совершенствования технологий выращивания гидробионтов аквакультура стала важной частью

продовольственной безопасности. Отмечается повышение государственной вовлеченности в развитие малого бизнеса фермеров, что способствует развитию рыбохозяйственной отрасли в России [1]. Ин-

Ponomarev S. V., Levina O. A., Fedorovykh Yu. V., Terganova N. V., Niunkov P. A., Akhmedzhanova A. B. Evaluation of the effectiveness of using an alternative protein source in freshwater shrimp farming

тенсивно развивается не только товарное рыбоводство, но и индустриальное выращивание креветок.

Эффективность выращивания ракообразных, в том числе креветок, зависит от качества корма [2, 3]. Необходимый уровень белка в кормовой смеси для креветок должен быть не менее 40,0 %, при этом для производителей содержание протеина достаточно на уровне 30,0 %, для молоди – 30,0–40,0 %, для личинок – 55,0 % [4]. Источником белка в кормах для креветок являются мясо кальмара, соевая мука, креветочная мука и некоторые виды рыбной муки. Важным условием является удовлетворение потребностей креветок в незаменимых аминокислотах: фенилаланине, лизине, гистидине, аспарагиновой кислоте, треонине, валине, метионине, изолейцине, лейцине и триптофане [5].

Для производства эффективных полнорационных комбикормов необходимо качественное белковое сырье, дефицит которого осложняет ситуацию с кормопроизводством и негативно влияет на выпуск стартовых и продукционных комбикормов. Однако это способствует разработке нового кормового сырья, а также исследованию кормовых компонентов, уже успешно применяемых в практике сельского хозяйства. При этом основным критерием является удовлетворение биологическим потребностям культивируемых гидробионтов. В частности, замена рыбной муки на иные источники протеина позволит не только снизить проблему закупки дефицитного компонента, но и разработать моноорма для представителей нерыбных объектов аквакультуры [6–9].

Одним из перспективных путей получения белковых веществ является микробный синтез. Выращивание микроорганизмов на различном сырье, богатом углеродом и другими биогенными элементами, позволяет получать микробные массы. Для получения таких белковых препаратов используют

бактерии, накапливающие до 60,0–70,0 % белка от своей массы, при соблюдении специальных условий выращивания. Метанотрофные бактерии при соблюдении определенных условий способны использовать природный газ как питательную среду. При этом отмечается быстрый рост, размножение и увеличение биомассы, богатой белком, витаминами и биологически активными веществами.

В условиях растущего дефицита рыбной муки и других компонентов животного происхождения изучение новых белковых продуктов биосинтеза с точки зрения возможности и экономической целесообразности использования их в кормах для рыб представляется важнейшей задачей, решение которой будет способствовать развитию и наращиванию объемов интенсивных форм рыбоводства.

Целью исследования является оценка влияния экструдированного высокобелкового продукта микробиологического синтеза в качестве альтернативного белкового компонента в полностью экструдированных комбикормах на показатели роста и физиологическое состояние пресноводной креветки Розенберга.

Материалы и методы исследования

Испытание вариантов экструдированных комбикормов для пресноводной креветки проводили в условиях аквариального комплекса (Инновационный центр «Биоаквапарк – научно-технический центр аквакультуры») Астраханского государственного технического университета (АГТУ), а также лабораторных условиях научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры» АГТУ. Объектом исследования служила гигантская пресноводная креветка *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) (рис. 1).



Рис. 1. Гигантская пресноводная креветка *Macrobrachium rosenbergii*

Fig. 1. Giant freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*

Посадочный материал содержали в аквариумах (400 л) с искусственной аэрацией и фильтрацией, а также подогревом воды. Для укрытия креветок

были сооружены домики из керамики и пластика. Плотность посадки составила 100 шт. на аквариум: опытный и контрольный (двойная повторность).

Оптимальный фоторежим для молоди и взрослых особей в условиях эксперимента – 12 : 12 (свет : темнота) при освещенности 1 000 лк.

На протяжении исследования контролировали гидрохимический режим, водообмен, рост и развитие креветок (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Гидрохимические показатели воды в аквариумах

Hydrochemical parameters of water in aquariums

Показатель	Диапазон колебаний	Технологическая норма*
Активная реакция среды, pH	7,0–7,8	6,8–7,2
Кислород, мг/л	7,4–8,1	5,0
Аммонийный азот, мг N/л	0,06–0,09	2–4
Нитриты, мг N/л	0,01–1,26	до 0,1–0,2
Нитраты, мг N/л	2,1–53	до 60
Температура, °C	25–29	26–28

*Данные [10].

Содержание кислорода фиксировали по данным термооксиметра Марк-302М. Водородный показатель регистрировали с помощью pH-метра HANNA. Концентрацию биогенных элементов в воде измеряли с помощью экспресс-тестов Sera, используемых в соответствии с инструкцией разработчика.

Для предотвращения возникновения грибковых заболеваний в ходе экспериментальной работы проводились постоянный контроль качества выростной среды и профилактические меры борьбы с заболеваниями. Профилактические меры позволили снизить элиминацию, однако отход отдельных особей случался у подрастающих креветок как проявление каннибализма.

При проведении стандартного биологического анализа у креветок определяли общую длину (от конца рострума до конца тельсона) и массу тела, регистрировали выживаемость.

Длину *L* молоди креветок измеряли с помощью окуляр-микрометра, измерение взрослых особей осуществляли с помощью штангенциркуля/линейки с точностью до 1 мм. Индивидуальную массу определяли с помощью электронных весов (AND, точность до 0,0001 г; Масса-К, точность до 0,01 г), предварительно обсушив гидробионтов фильтровальной бумагой (рис. 2).



Рис. 2. Взвешивание и измерение гигантской пресноводной креветки Розенберга

Fig. 2. Weighing and measuring Rosenberg's giant freshwater shrimp

Контрольный и опытный комбикорма были изготовлены в лабораторных условиях методом экстракции крахмалосодержащего сырья, гранулирования и получения гранул нужного размера [11].

В процессе изготовления в корма была добавлена кормовая добавка DREAMFEED® (ООО «Гидробиосинтез», Россия), являющаяся концентратом

микробного белка из инактивированной культуры клеток *Methylococcus capsulatus* (штамм ГБС-15) – 100 %, с содержанием сырого протеина – 70–80 %, липидов – 9–14 %, золы – 6–10 % и влаги не более 10 %. Кормовую добавку вводили в комбикорм в количестве 15,0 и 20,0 % (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Состав рецепта гранулированно-экструдированного корма, %

Composition of the granulated-extruded feed recipe, %

Компонент	Производственный		Стартовый	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Рыбная мука	57,0	72,0	52,0	72,0
Пшеничный глютен			15,0	
Крилевая мука			5,0	
Премикс			1,0	
Мука из кожицы винограда			1,0	
Кровяная мука			3,0	
DREAMFEED®	15,0	–	20,0	–
Рыбий жир			3,0	

Органолептические и технологические показатели полученного гранулированно-экструдированного корма (водостойкость, набухаемость, крошимость) определяли в лабораторных условиях согласно действующим ГОСТ [12–14]. Скорость набухания определяли по абсолютной сухой массе.

Выращивание молоди пресноводной креветки с применением экспериментальных кормов разделили на 2 этапа: кормление стартовыми кормами с добавлением 20 % DREAMFEED® (65 дней), кормление производственными кормами с добавлением 15 % добавки DREAMFEED® (70 дней).

С помощью рыбоводно-биологического анализа определяли эффективность проведенной работы. За период выращивания (135 суток) изменения длины и массы фиксировали на контрольных измерениях (контрольные точки).

Рыбоводно-биологические показатели определяли по следующим формулам [15–17]:

– абсолютный прирост:

$$P_{аб} = m_k - m_0,$$

где m_k и m_0 – конечная и начальная масса, г;

– коэффициент упитанности по Фульгону:

$$Q_{Ф} = (W \cdot 100) / l^3,$$

где W – масса тела, г; l – абсолютная длина, см;

– коэффициент массонакопления:

$$K_m = ((m_k^{1/3} - m_0^{1/3}) \cdot 3) / t,$$

где t – продолжительность исследования, сут;

– среднесуточный прирост:

$$P_{ср.сут} = (m_k - m_0) / t;$$

– среднесуточная скорость роста, %:

$$A = [(m_k / m_0)^{1/t} - 1] \cdot 100.$$

Затраты кормов фиксировали ежедневно как важный показатель выращивания. Кормовые затраты определяли как общее количество корма, внесенного в емкость для выращивания [18]. Выживаемость учитывали поштучным методом.

Результаты исследований обработаны с применением общепринятых методов биологической статистики [19] и программы Microsoft Excel. Статистический анализ проводили с определением среднего арифметического значения M , статистической ошибки m , стандартного отклонения σ , коэффициента вариации CV . Уровень различий оценивали с помощью критерия достоверности Стьюдента.

Результаты исследований

Отмечено, что опытные комбикорма хорошо поедались креветкой. Крошимость стартовых и производственных кормов составила 1,5 %, контрольной партии – 1,6 %. Скорость набухания опытных партий корма составила 5,5 мин при водостойкости 36,0 мин. У контрольной партии корма скорость набухания 5,0 мин, при водостойкости 30,0 мин.

Анализ питательной ценности экспериментальных комбикормов и количество микроэлементов представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3

Table 3

Питательная ценность опытного и контрольного комбикормов

Nutritional value of experimental and control compound feed

Комбикорм	Углеводы, %	Белок, %	Жир, %	Энергия, МДж/кг
Контроль	2,49	66,04	9,69	19,9
Стартовый	3,68	67,34	10,01	20,5
Производственный	3,38	67,01	9,93	20,1

Контроль	Ca > K > Na > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu > Co
Стартовый	Ca > K > Na > Mg > Fe > Zn > Cu > Mn > Co
Производственный	Ca > K > Na > Mg > Fe > Zn > Cu > Mn > Co

Рис. 3. Расположение микроэлементов в тестируемых кормах

Fig. 3. The location of trace elements in the tested feeds

Анализ микроэлементов в тестируемых кормах выявил значительное различие по Cu (см. рис. 3): в опытных вариантах количество Cu составило 99,0–99,2 мг/кг, в контрольном варианте 6,58 мг/кг. На 1 этапе (65 сут) при использовании стартового

корма (рис. 4) с кормовой добавкой DREAMFEED® средняя масса возрастала с постоянной скоростью при стабильном повышении абсолютного прироста и среднесуточной скорости роста (рис. 5).

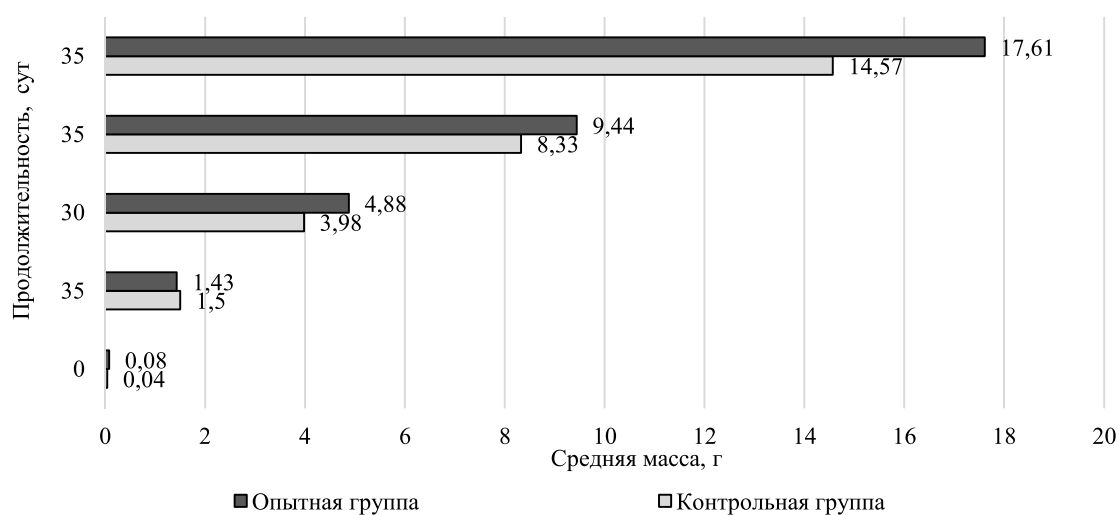
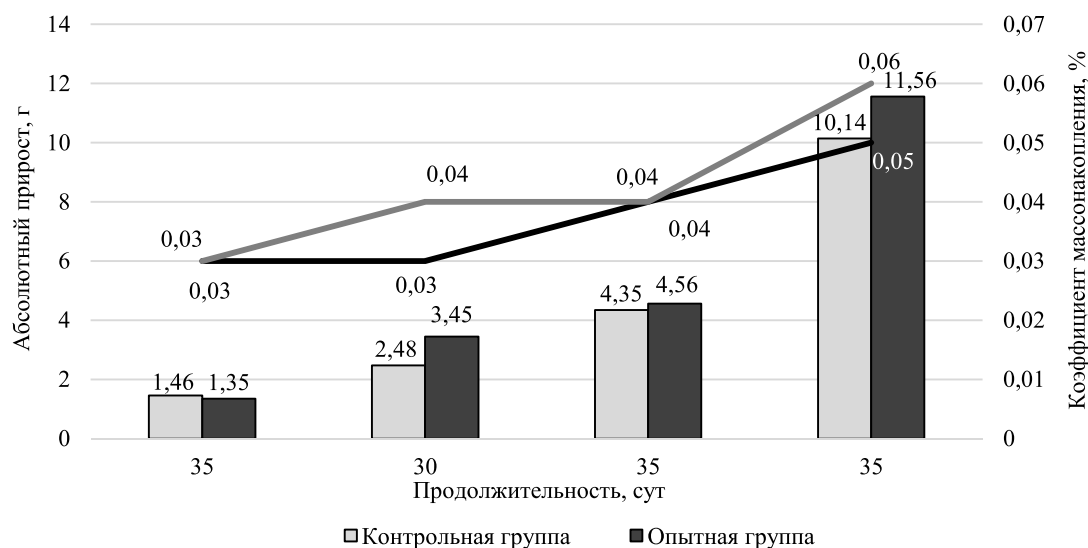


Рис. 4. Динамика средней массы креветки, выращиваемой на кормах с кормовой добавкой DREAMFEED®

Fig. 4. Dynamics of the average weight of shrimp grown on feed with the feed additive DREAMFEED®



a

Рис. 5. Динамика рыбоводно-биологических показателей креветки в условиях эксперимента:
a – абсолютный прирост и коэффициент массонакопления

Fig. 5. Dynamics of fish-breeding and biological parameters of shrimp under experimental conditions:
a – absolute gain and mass accumulation coefficient

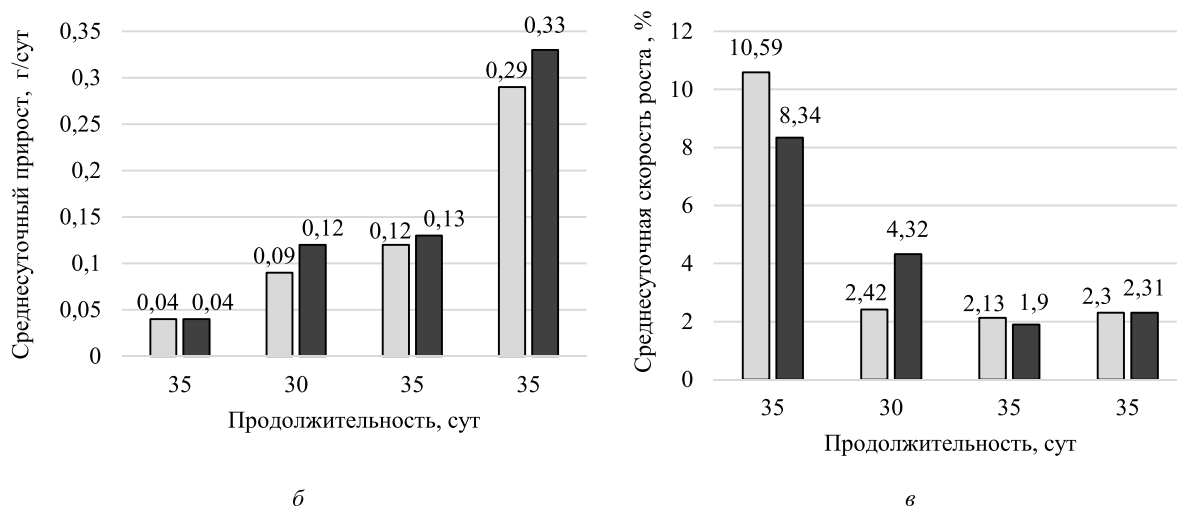


Рис. 5 (окончание). Динамика рыбоводно-биологических показателей креветки в условиях эксперимента:
б – среднесуточный прирост; в – среднесуточная скорость роста

Fig. 5 (ending). Dynamics of fish-breeding and biological parameters of shrimp under experimental conditions:
б – average daily increase; в – average daily growth rate

В обоих вариантах исследования отмечается нарастание темпа роста после адаптации к новым условиям выращивания, что выражается в увеличении абсолютного прироста на 2-й месяц исследования. При этом более существенные изменения произошли у опытной группы креветок. При использовании кормовой добавки DREAMFEED® абсолютный прирост в постадаптационный период выращивания был выше на 39,11 %, чем у контрольной группы, а увеличение показателя относительно 1-го месяца выращивания произошло в 2,5 раза.

Аналогичная динамика наблюдается для показателя среднесуточного прироста. За первый этап выращивания среднесуточный прирост находился на одном уровне в обоих вариантах исследования. Стабильные условия выращивания и полноценное кормление позволили увеличить этот показатель, что особенно проявилось у креветок опытной группы. Показатель на 33,33 % был выше, чем у креветок контрольной группы за тот же этап.

Коэффициент массонакопления находился на одном уровне в обоих вариантах исследования и составлял 0,06 ед. Последний показатель характеризует физиологическую полноценность выращенной пресноводной креветки.

На 2-м этапе выращивания использовали продукционные корма с добавлением 15,0 % кормовой добавки DREAMFEED®. Отмечается, что переход на корм с меньшим содержанием тестируемой кормовой добавки (15,0 %) способствовал некоторому сдерживанию интенсивности роста. Разница показателей средней массы опытной и контрольной групп креветок составила 11,7 %. В дальнейшем интенсивность роста возобновилась, разница средних масс составила 17,26 %. Описанная тенденция полностью повторила ситуацию 1-го этапа выращивания и под-

твердила, что смена рациона является биогенным фактором, требующим адаптации организма к новым условиям кормления.

За весь период исследования рыбоводно-биологические показатели опытной группы несколько превышали показатели контрольной группы. Абсолютный прирост составил 17,53 и 14,53 г у опытной и контрольной групп соответственно. Среднесуточный прирост у опытной группы креветок составил 0,13 г/сут, у особей контрольной группы этот показатель составил 0,11 г/сут. Коэффициент массонакопления в обеих группах был на уровне 0,05 ед. Выживаемость креветок находилась на высоком уровне и за весь период выращивания составила 89,0 % у опытной группы и 82,0 % у контрольной группы.

Условия выращивания и технология кормления напрямую оказывают влияние на количество элементов в организме культивируемых гидробионтов. Анализ накопления элементов необходим как для практических целей, так и для понимания формирования микроэлементного состава организмов.

Для получения кормовой добавки DREAMFEED® используется минеральная среда, содержащая соли калия, магния, меди, железа, марганца, цинка, и природный газ. При этом присутствие меди и железа необходимо для функционирования ферментов, отвечающих за окисление метана. В результате этого в готовом сухом продукте может содержаться высокое остаточное количество меди – 200–300 мг/кг.

Ввиду того, что креветки являются продуктом питания человека, необходимо учитывать накопление в них микроэлементов и оценивать качество выращиваемой продукции. Результаты анализа минерального состава органов и тканей культивируемой креветки представлены в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Количество микроэлементов в тканях и органах гигантской пресноводной креветки, мг/кг

The amount of trace elements in the tissues and organs of giant freshwater shrimp, mg/kg

Показатель	Печень		Панцирь		Мышцы	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Cu	28,84 ± 0,28	2 142,0 ± 14	34,57 ± 0,89	95,88 ± 0,90	17,08 ± 0,57	40,47 ± 0,23
Zn	89,97 ± 0,28	83,76 ± 0,75	39,26 ± 0,35	51,74 ± 0,49	49,42 ± 0,33	53,55 ± 0,85
Mn	3,57 ± 0,23	4,86 ± 0,16	4,29 ± 0,05	5,74 ± 0,04	1,19 ± 0,01	1,31 ± 0,02
K	6 520 ± 221,0	5 049 ± 254	6 399 ± 39	5 968,0 ± 58,0	14 996 ± 150	14 867 ± 135
Co	0,267 ± 0,013	0,275 ± 0,015	0,100 ± 0,021	0,110 ± 0,011	0,200 ± 0,008	0,117 ± 0,011
Mg	358,0 ± 33,0	580,0 ± 223,0	2 033,0 ± 12,0	2 086 ± 51	511,0 ± 3,0	514,0 ± 8,0
Fe	224,0 ± 21,0	157,0 ± 10,0	96,5 ± 12,6	89,2 ± 0,9	114,0 ± 11,0	111,0 ± 4,0
Ca	–				1 079,0 ± 24,0	1 005,0 ± 26,0

В табл. 5 представлены особенности микроэлементного состава исследованных образцов.

Таблица 5

Table 5

Расположение микроэлементов в тканях и органах гигантской пресноводной креветки в порядке убывания

The arrangement of trace elements in the tissues and organs of the giant freshwater shrimp in descending order

Образец	Группа	Порядок микроэлементов
Печень	Опыт	K > Cu > Mg > Fe > Zn > Mn > Co
	Контроль	K > Mg ~ Fe > Zn > Cu > Mn > Co
Панцирь	Опыт	K > Mg > Cu ~ Fe > Zn > Mn > Co
	Контроль	K > Mg > Fe > Zn ~ Cu > Mn > Co
Мышцы	Опыт	K > Ca > Mg > Fe > Zn ~ Cu > Mn > Co
	Контроль	K > Ca > Mg > Fe > Zn > Cu > Mn > Co

В условиях эксперимента первое место среди микроэлементов занимает K, который присутствует во всех образцах в количестве, значительно превышающем остальные. Ca определили лишь в образцах мышечной ткани. Количество Mg было закономерно выше (до 2 033–2 086 мг/кг) в образцах панциря; в мышцах и печени количество этого микроэлемента было в 3,5–5,6 раза меньше, чем в образцах панциря.

Количество Zn достаточное и соотносится с данными о количестве микроэлементов у промысловых ракообразных в естественной среде обитания. Это свидетельствует о нормальном количестве цинксодержащих ферментов в организмах, которые встречаются во всех классах ферментов. Важнейшим среди них является карбоангидраза, катализирующая обратный процесс гидратации CO₂.

В условиях эксперимента Fe в основном аккумулируется в печени и мышцах, значения у опытной и контрольной групп рыб не имеют существенных различий.

Интересна динамика накопления Cu – важного микроэлемента в процессах тканевого дыхания. В условиях эксперимента наибольшее количество Cu отмечено в печени. У опытной группы креветок показатель в 75 раз выше, чем у креветок контрольной группы, что, вероятно, связано с большим ко-

личеством Cu в кормах.

Заключение

В ходе научно-исследовательской работы была проведена замена рыбной муки в стартовом (20,0 %) и продукционном (15,0 %) комбикорме для молоди гигантской пресноводной креветки Розенберга на белковую кормовую добавку DREAMFEED®, представляющую собой концентрат микробного белка *Methylococcus capsulatus*. В результате проведенных исследований по органолептическим показателям установлено, что исследуемые корма соответствуют требованиям ГОСТ-2014. По результатам анализа рыбоводно-биологических показателей установлено, что рост креветок опытной группы, потреблявшей корм с заменой рыбной муки на кормовую добавку DREAMFEED®, имеет тенденцию к увеличению, что проявляется более высокой скоростью роста. Оценка качества креветок, с точки зрения содержания в них микроэлементов, показала сходство микроэлементного состава мышечной ткани, панциря и печени опытной и контрольной групп креветок. Однако в условиях эксперимента в печени опытных групп креветок зафиксировано наибольшее количество Cu (2 142,0 мг/кг), что связано с большим содержанием этого микроэлемента в кормах.

Список источников

1. Мирошникова Е. П., Зуева М. С., Аринжанов А. Е., Киликова Ю. В. Современное состояние аквакультуры в России и за рубежом // Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Оренбург: Оренбург. гос. ун-т, 2023. С. 180–183.
2. Васильев А. А., Руднева О. Н., Руднев М. Ю., Гуркина О. А., Торопова В. В. Планирование технологических процессов в аквакультуре: учеб. пособие. Саратов, 2022. 135 с.
3. Sahu N. P., Jain K. K., Misra C. K. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, water absorption and physical response of *Macrobrachium rosenbergii* // Asian-Australian Journal of Animal Science. 2002. V. 15. P. 1354–1357.
4. Sarma A., Sahu N. P. Optimization of plant to animal protein ratio in the post larval diet of *Macrobrachium rosenbergii* // Indian Journal of Animal Science. 2002. N. 72. P. 1051–1054.
5. Лагуткина Л. Ю., Лагуткин О. Ю. Аквакультура: приоритеты, ресурсы, технологии // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2010. № 1. С. 69–76.
6. Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. Создание кормов на основе биомассы растительного и животного планктона прудовых экосистем для объектов тепловодной аквакультуры // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2010. № 2. С. 748–753.
7. Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. Создание кормов на основе биомассы растительного и животного планктона прудовых экосистем для объектов тепловодной аквакультуры // Изв. высш. учеб. завед. Сев.-Кавказ. регион. Сер.: Естественные науки. 2011. № 2. С. 57–61.
8. Лагуткина Л. Ю. Методы отлова и переработки биомассы растительного и животного планктона прудовых экосистем // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2012. № 1. С. 66–70.
9. Вилутис О. Е., Васильев А. А., Акчурина И. В., Поддубная И. В., Тарасов П. С. Изучение действия йод-содержащего препарата на продуктивность ленского осетра // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. «Лапшинские чтения». Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 58–61.
10. Ковачева Н. П., Жигин А. В., Борисов Р. Р., Крякова Н. В., Лебедев Р. О., Паршин-Чудин А. В., Ковачева Н. П. Биология и культивирование гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1876). М.: Изд-во ВНИРО, 2015. 111 с.
11. Пономарев С. В., Гамыгин Е. А., Никоноров С. И., Пономарева Е. Н., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А. Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России. Астрахань: Нова плюс, 2002. 264 с.
12. ГОСТ 28497-90 Межгосударственный стандарт. Комбикорма, сырье гранулированные. Методы определения крошимости. М.: Стандартинформ, 2006. 4 с.
13. ГОСТ 10385-2014. Межгосударственный стандарт. комбикорма для рыб. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. 15 с.
14. ГОСТ 28497-2014. Корма, комбикорма. Метод определения крошимости гранул. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
15. Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1956. 253 с.
16. Купинский С. В., Баранов С. А., Резников В. Ф. Радужная форель – предварительные параметры стандартной модели массонакопления // Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах: сб. науч. тр. М.: ВНИИПРХ, 1985. Вып. 46. С. 109–115.
17. Резников В. Ф., Баранов С. А., Стариков Е. А., Толчинский Г. И. Стандартная модель массонакопления рыбы // Механизация и автоматизация рыбоводства и рыбоводства во внутренних водоемах. М.: ВНИИПРХ, 1978. Вып. 22. С. 182–196.
18. Пономарев С. В., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А. Индустриальное рыбоводство: учеб. для вузов. СПб.: Лань, 2013. 448 с.
19. Лакин Г. Ф. Биометрия: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1990. 293 с.

References

1. Miroshnikova E. P., Zuyeva M. S., Arinzhanov A. E., Kilyakova Yu. V. Sovremennoye sostoyaniye akvakultury v Rossii i za rubezhom [The current state of aquaculture in Russia and abroad]. *Aktualnyye problemy prikladnoy biotekhnologii i inzhenerii: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Orenburg, Orenburg. gos. un-t, 2023. Pp. 180–183.
2. Vasil'ev A. A., Rudneva O. N., Rudnev M. Yu., Gurkina O. A., Toropova V. V. *Planirovanie tekhnologicheskikh processov v akvakul'ture: ucheb. posobie* [Planning of technological processes in aquaculture: a study guide]. Saratov, 2022. 135 p.
3. Sahu N. P., Jain K. K., Misra C. K. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, water absorption and physical response of *Macrobrachium rosenbergii*. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 2002, vol. 15, p. 1354–1357.
4. Sarma A., Sahu N. P. Optimization of plant to animal protein ratio in the post larval diet of *Macrobrachium rosenbergii*. *Indian Journal of Animal Science*, 2002, no. 72, pp. 1051–1054.
5. Lagutkina L. Yu., Lagutkin O. Yu. Akvakultura: pri-

oritety, resursy, tekhnologii [Aquaculture: priorities, resources, technologies]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo*, 2010, no. 1, pp. 69–76.

6. Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. Sozdaniye kormov na osnove biomassy rastitelnogo i zhivotnogo planktona prudovykh ekosistem dlya obyektov teplovodnoy akvakultury [Creation of feed based on biomass of plant and animal plankton of pond ecosystems for warm-water aquaculture facilities]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2010, no. 2, pp. 748–753.

7. Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. Sozdaniye kormov na osnove biomassy rastitelnogo i zhivotnogo planktona prudovykh ekosistem dlya obyektov teplovodnoy akvakultury [Creation of feed based on biomass of plant and animal plankton of pond ecosystems for warm-water aquaculture facilities]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennyye nauki*, 2011, no. 2, pp. 57–61.

8. Lagutkina L. Yu. Metody otlova i pererabotki biomassy rastitelnogo i zhivotnogo planktona prudovykh ekosistem [Methods of trapping and processing biomass of plant and animal plankton of pond ecosystems]. *Vestnik As-*

trakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo, 2012, no. 1, pp. 66-70.

9. Vilutis O. E., Vasil'ev A. A., Akchurina I. V., Poddubnaya I. V., Tarasov P. S. Izuchenie dejstviya jodsoderzhashchego preparata na produktivnost' lenskogo osetra [Study of the effect of an iodine-containing drug on the productivity of Lena sturgeon]. *Resursosberegayushchie ekologicheski bezopasnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skhozajstvennoj produkcii: materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Lapshinskie chteniya»*. Saransk, Izd-vo Mordov. un-ta, 2013. Pp. 58-61.

10. Kovacheva N. P., Zhigin A. V. i dr. *Biologiya i kultivirovaniye gigantskoy presnovodnoy krevetki Macrobrachium rosenbergii (de Man. 1876)* [Biology and cultivation of the giant freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1876)]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2015. 111 p.

11. Ponomarev S. V., Gamygin E. A. i dr. *Tekhnologii vyrashchivaniya i kormleniya ob'yektov akvakultury yuga Rossii* [Technologies of cultivation and feeding of aquaculture facilities in the South of Russia]. Astrakhan, Nova plyus Publ., 2002. 264 p.

12. *GOST 28497-90. Mezghosudarstvennyy standart. Kombikorma, syrye granulirovannyye. Metody opredeleniya kroshimosti* [GOST 28497-90. The interstate standard. Compound feed, granulated raw materials. Methods for determining crumbliness]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 4 p.

13. *GOST 10385-2014. Mezghosudarstvennyy standart. Kombikorma dlya ryb. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya*

[GOST 10385-2014. The interstate standard. Mixed feed for fish. General technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 15 p.

14. *GOST 28497-2014. Korma. kombikorma. Metod opredeleniya kroshimosti granul* [GOST 28497-2014. Feed. mixed feed. The method of determining the crumbliness of granules]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 7 p.

15. Vinberg G. G. *Intensivnost obmena i pishchevyye potrebnosti ryb* [Metabolic rate and nutritional needs of fish]. Minsk, Izd-vo Belorus. un-ta, 1956. 253 p.

16. Kupinskiy S. V., Baranov S. A., Reznikov V. F. Raduzhnaya forel – predvaritelnyye parametry standartnoy modeli massonakopleniya [Rainbow trout – preliminary parameters of the standard mass accumulation model]. *Industrialnoye rybovodstvo v zamknytykh sistemakh: sbornik nauchnykh trudov*. Moscow, Izd-vo VNIIPRKh, 1985. Iss. 46. Pp. 109-115.

17. Reznikov V. F., Baranov S. A., Starikov E. A., Tolchinskiy G. I. Standartnaya model massonakopleniya ryby [The standard model of fish mass accumulation]. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya rybovodstva i rybolovstva vo vnutrennikh vodoyemakh*. Moscow, Izd-vo VNIIPRKh, 1978. Iss. 22. Pp. 182-196.

18. Ponomarev S. V., Grozesku Yu. N., Bakhareva A. A. *Industrialnoye rybovodstvo: uchebnik* [Industrial fish farming: a textbook]. Saint Petersburg, Lan Publ., 2013. 448 p.

19. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 293 p.

Статья поступила в редакцию 01.11.2025; одобрена после рецензирования 21.11.2025; принята к публикации 05.12.2025

The article was submitted 01.11.2025; approved after reviewing 21.11.2025; accepted for publication 05.12.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Владимирович Пономарев – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры аквакультуры и водных биоресурсов, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет; профессор кафедры кормления и кормопроизводства; Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина; ya.panama2011@yandex.ru

Ольга Александровна Левина – кандидат сельскохозяйственных наук; младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет; levina90@inbox.ru

Юлия Викторовна Федоровых – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры аквакультуры и водных биоресурсов, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет; jaqua@yandex.ru

Наталья Владимировна Терганова – аспирант кафедры аквакультуры и водных биоресурсов; Астраханский государственный технический университет; yhtetbmd@mail.ru

Sergey V. Ponomarev – Doctor of Biological Sciences, Professor; Professor of the Department of Aquaculture and Water Bioresources, Head of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Objects of Aquaculture; Astrakhan State Technical University; Professor of the Department of Feeding and Feed Production; Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin; ya.panama2011@yandex.ru

Olga A. Levina – Candidate of Agricultural Sciences; Junior Researcher of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Objects of Aquaculture; Astrakhan State Technical University; levina90@inbox.ru

Yulia V. Fedorovykh – Candidate of Agricultural Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Aquaculture and Water Bioresources, Researcher of Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Objects of Aquaculture; Astrakhan State Technical University; jaqua@yandex.ru

Natalia V. Terganova – Postgraduate Student of the Department of Aquaculture and Water Bioresources; Astrakhan State Technical University; yhtetbmd@mail.ru

Ponomarev S. V., Levina O. A., Fedorovykh Yu. V., Terganova N. V., Niznikov P. A., Akhmedzhanova A. B. Evaluation of the effectiveness of using an alternative protein source in freshwater shrimp farming

Павел Андреевич Нюньков – генеральный директор; ООО «Гипробьосинтез»; nyunkov.p@gibios.ru

Pavel A. Niunkov – General Director; Giprobiosintez, LLC; nyunkov.p@gibios.ru

Алия Баймуратовна Ахмеджанова – кандидат биологических наук; доцент кафедры аквакультуры и водных биоресурсов, ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет; aliyaakhmed88@gmail.com

Aliya B. Akhmedzhanova – Candidate of Biological Sciences; Assistant Professor of the Department of Aquaculture and Water Bioresources, Leading Engineer of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Objects of Aquaculture; Astrakhan State Technical University; aliyaakhmed14@gmail.com

