

Научная статья
УДК 639.3
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-45-51>
EDN DLJDVL

Интегрированное выращивание карпа кои с использованием плавающих грядок

**Галина Иозепошна Пронина^{1✉},
Алексей Васильевич Жигин², Иван Александрович Короченский³**

¹⁻³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Москва, Россия, gidrobiont4@yandex.ru[✉]

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
Москва, Россия

Аннотация. Одним из перспективных направлений ресурсосбережения и увеличения продукции сельского хозяйства, в том числе рыбоводства, является использование интегрированных технологий, что позволяет комплексно эксплуатировать водоемы и прилегающие территории, более полно используя биологические ресурсы и снижая экономические затраты. Представлены результаты интегрированного выращивания рыбы и овощных культур в искусственной экосистеме при эксплуатации установок с замкнутым водоиспользованием. Показано, что совместное выращивание карпов кои и огурцов на плавающей грядке, расположенной непосредственно в рыбоводной емкости, в которой осуществлялись циркуляция, аэрация, терморегуляция и очистка оборотной воды, в течение 60 суток позволило достоверно улучшить гидрохимический режим в циркуляционной системе по растворенному кислороду, фосфатам и группе азотсодержащих соединений: аммиаку, нитритам и в большей мере нитратам, т. е. в опыте с плавающими грядками отмечено активное поглощение ионов азотных соединений корневой системой выращиваемых растений. Благодаря этому прирост общей ихтиомассы карпов кои в опыте оказался в 1,7 раза выше, чем в контроле, а рыбопродуктивность аквариума с плавающей грядкой увеличилась на 9,3 % с одновременным снижением в 1,4 раза затрат кормов на прирост массы рыб по сравнению с выращиванием аналогичной группы рыб без растений. Приведенный балансовый расчет показал, что удельное образование нитратов в пересчете на 1 кг ихтиомассы составляло 0,87 г в сутки, что позволяет высаживать на плавающую грядку до 9 растений огурцов на 1 кг рыбы.

Ключевые слова: карп кои, аквапоника, установка с замкнутым водоиспользованием, интегрированные технологии аквакультуры

Для цитирования: Пронина Г. И., Жигин А. В., Короченский И. А. Интегрированное выращивание карпа кои с использованием плавающих грядок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 4. С. 45–51. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-45-51>. EDN DLJDVL.

Original article

Integrated koi carp cultivation using floating beds

Galina I. Pronina^{1✉}, Alexey V. Zhigin², Ivan A. Korochensky³

¹⁻³Russian Timiryazev State Agrarian University,
Moscow, Russia, gidrobiont4@yandex.ru[✉]

²Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Moscow, Russia

Abstract. One of the promising areas of resource conservation and increasing agricultural production, including fish farming, is the use of integrated technologies, which makes it possible to comprehensively exploit reservoirs and adjacent territories, making better use of biological resources and reducing economic costs. The results of integrated cultivation of fish and vegetable crops in an artificial ecosystem during operation of installations with closed water use are presented. It is shown that the joint cultivation of koi carp and cucumbers on a floating bed located directly in a fish tank in which circulation, aeration, thermoregulation and purification of recycled water were carried out for 60 days significantly improved the hydrochemical regime in the circulation system for dissolved oxygen, phosphates and

a group of nitrogen-containing compounds: ammonia, nitrites and more. In the experiment with floating beds, active absorption of ions of nitrogen compounds by the root system of cultivated plants was noted. Due to this, the increase in the total ichthyomass of koi carp in the experiment turned out to be 1.7 times higher than in the control, and the fish productivity of the aquarium with a floating bed increased by 9.3%, while simultaneously reducing feed costs by 1.4 times for weight gain compared with growing a similar group of fish without plants. The above balance calculation showed that the specific formation of nitrates in terms of 1 kg of ichthyomass was 0.87 g per day, which makes it possible to plant up to 9 cucumber plants per 1 kg of fish on a floating bed.

Keywords: koi carp, aquaponics, installation with closed water supply, integrated aquaculture technologies

For citation: Pronina G. I., Zhigin A. V., Korochensky I. A. Integrated koi carp cultivation using floating beds. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2025;4:45-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-45-51>. EDN DLJDVL.

Введение

Известно, что использование интегрированных технологий в рыбоводстве – одно из перспективных направлений ресурсосбережения и увеличения продукции сельского хозяйства: рыбоводства, животноводства, птицеводства и растениеводства. Интегрированные технологии дают возможность комплексно использовать водоем и прилегающую территорию для целей сельскохозяйственного производства, что позволяет минимизировать затраты, более рационально использовать водные и земельные ресурсы при одновременном получении экологически чистой продукции [1] и увеличить выход продукции с единицы площади до 50 % [2, 3].

Основой функционирования интегрированных агросистем являются рационально образованные трофические цепи, которые обеспечивают стабильность этих агросистем, поэтому основной задачей при организации таких систем является нахождение оптимальных комбинаций выращиваемых и существующих совместно живых организмов [1].

Научное обеспечение интегрированных технологий в рыбоводстве представляет собой продолжение фундаментальных исследований в области круговорота веществ, этологии животных и моделирования биопродукционных процессов [2].

Применение интегрированных систем представляется перспективным и в индустриальной аквакультуре, в частности при эксплуатации установок с замкнутым водоиспользованием (УЗВ). Оно может являться одним из путей повышения эффективности УЗВ. Такие комплексные системы включают выращивание гидробионтов и утилизацию продуктов их жизнедеятельности путем выращивания растений.

Существенным преимуществом по сравнению с традиционными формами аквакультуры является компактность создаваемых агрогидроэкосистем, что позволяет размещать их в непосредственной близости от потребителей – крупных городов, где ощущаются дефицит и высокая стоимость земельных и водных ресурсов [4, 5].

Важным условием эффективной работы подобных систем является правильное соотношение между количеством рыбы и растений. Загрязнений

при выращивании рыбы должно быть достаточно для питания растений. В то же время растений необходимо столько, чтобы обеспечить поддержание качества воды в целях создания оптимальных условий для выращивания рыбы [6].

Как правило, аквапонные блоки представляют собой лотки в составе УЗВ с различными субстратами для закрепления корневой системы растений. При этом исследования показали, что по мере заливания субстрата происходит накопление и выделение в воду значительного количества вторичных загрязнений, что весьма опасно. Этим обусловлены сравнительно оптимистичные результаты очистки воды аквапонным методом в кратковременных экспериментах и более сдержанные оценки специалистов возможностей аквапонной очистки в продолжительных опытах. В этой связи нами было предложено использовать способ выращивания растений на плавающих грядках непосредственно в рыбоводных емкостях, что позволяет отказаться от создания специальных аквапонных блоков в составе УЗВ [7]. Вместе с тем данные по эксплуатации УЗВ в таком режиме в доступной нам литературе практически отсутствуют, что показывает необходимость проведения дальнейших исследований в рассматриваемом направлении.

Цель настоящей работы: интегрированное выращивание рыбы и овощных культур в искусственной экосистеме.

Материалы и методы

Исследования проводились в аквариальной кафедре аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Объектом исследований являлись сеголетки карпа кои (*Cyprinus rubrofasciatus* “koi”). По принципу пар-аналогов было сформировано 2 группы рыб по 5 экземпляров в каждой. Каждую группу высаживали в одинаковые автономные аквариумы объемом 200 л с циркуляцией, аэрацией, терморегуляцией и очисткой оборотной воды. При этом в одном из аквариумов на поверхности воды размещались плавающие грядки с посадкой огурцов сорта «Меренга» F₁ в количестве 5 растений (рис.).



Плавающие грядки в опытном аквариуме

Floating beds in an experimental aquarium

Pronina G. I., Zhigun A. V., Korotchenko I. A. Integrated koi carp cultivation using floating beds

Продолжительность опыта составила 60 сут. Температурный режим поддерживался в диапазоне 17–18 °С. Освещение обоих аквариумов составляло 2 600 лк в течение 17 ч в сут. Подмена воды осуществлялась 1 раз в 2 недели по 50 л.

Кормление рыбы осуществлялось ежедневно 1 раз в день сухим комбикормом TetraMin flakes из расчета суточной дозы 1 % от массы особей. Основными ингредиентами корма являлись рыба и побочные рыбные продукты, зерновые культуры, дрожжи, экстракты растительного белка, моллюски и раки, масла и жиры, сахар (олигофруктоза 1 %), водоросли, витамин А 37 680 МЕ/кг, витамин Д₃ 1 990 МЕ/кг, Е₅ марганец 96 мг/кг, Е₆ цинк 57 мг/кг, Е₁ железо 37 мг/кг, красители, антиоксиданты. Аналитический состав данного корма включал 46,0 % сырого белка, 11,0 % сырых масел и жиров, 3,0 % сырой клетчатки, содержание влаги 6,0 %.

На протяжении всего эксперимента ежедневно контролировали температуру воды и содержание растворенного кислорода термооксиметром «Самара-2», активную реакцию среды рН-метром Hanna, содержание аммонийного азота, нитритов, нитратов, фосфатов – еженедельно по стандартным методикам [8]. Определяли скорость роста и морфометрические показатели особей [9]. Масса рыб и растений определялась взвешиванием на электронных весах с точностью до 0,1 г.

На основании полученных данных выполнен расчет соотношения биомассы растений и массы выращиваемой рыбы в созданных экспериментальных условиях, при этом в расчетах были использованы формулы, предложенные нами ранее [7]. Расчет соотношения удельного образования нитратов в результате жизнедеятельности рыб и потребления нитратов растениями проводился по формулам

$$N = \frac{N_1 - N_2}{T} \cdot V,$$

где N – общее количество нитратов, поглощенное растениями в опыте, мг/сут; N_1 – концентрация нитратов, образовавшихся в результате жизнедеятельности рыб, мг/л; N_2 – остаточная концентрация нитратов после поглощения их растениями, мг/л; T – период наблюдений, сут; V – объем воды в аквариуме, л;

$$N_o = \frac{N_1}{M_{\text{рыб}} T} \cdot V,$$

где N_o – удельное образование нитратов от жизнедеятельности рыб, мг/г сутки; $M_{\text{рыб}}$ – общая ихтиомасса, г;

$$N_p = \frac{N}{M_{\text{растений}}},$$

где N_p – удельное потребление нитратов растениями, мг/г; $M_{\text{растений}}$ – общая биомасса растений, г;

$$A = N_o / N_p,$$

где A – соотношение удельного образования нитратов в результате жизнедеятельности рыб и поглощения растениями нитратов, ед.

Статистическая обработка цифровых материалов осуществлялась методом вариационной статистики по Стьюденту, достоверными считались различия при $p \leq 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

Гидрохимические параметры в контрольном и опытном аквариумах достоверно различались по всем изучаемым показателям (табл. 1), хотя в целом в обоих вариантах опыта они соответствовали допустимым значениям для УЗВ [5].

Таблица 1

Table 1

Гидрохимические показатели

Hydrochemical parameters

Показатель	Контроль (рыбы)	Опыт (рыбы + растения)
pH	7,26 ± 0,03	7,47 ± 0,06*
O ₂ , мг/л	6,8 ± 0,2	8,3 ± 0,2*
NH ₃ / NH ₄ , мг/л	0,03 ± 0,01	0,00*
NO ₂ , мг/л	0,10 ± 0,01	0,00*
NO ₃ , мг/л	20,7 ± 0,3	0,1 ± 0,1*
PO ₄ , мг/л	2,7 ± 0,2	0,4 ± 0,1*

* $P \leq 0,01$.

В контрольном варианте сочетание концентраций азотсодержащих веществ соответствует нормально протекающему процессу нитрификации с накоплением нитратов.

В опыте с плавающими грядками отмечено снижение содержания аммиака, нитритов и особенно значительно – нитратов при высоких значениях доверительного коэффициента. В опытном аквариуме корневая система растений активно поглощала ионы азотных соединений. При этом произошло достоверное повышение pH водной среды.

Известно, что обычно при нормально работающей системе биологической очистки вредное для рыбы количество фосфатов в воде УЗВ не накапливается [10], однако обращает на себя внимание существенное накопление фосфатов в контрольном аквариуме, что объясняется сравнительно небольшими объемами подмены воды в емкости. В то же время в опытном аквариуме такого накопления фосфатов не отмечалось, что можно объяснить их по-

треблением развивающимися растениями. Известно, что огурцам требуется большое количество фосфора: потребность огурцов в минеральном фосфоре в 2 раза выше, чем, например, у томатов [11–13]. Особенно он необходим в фазе цветения и образования плодов, при этом основная его часть (70 %) расходуется в период плодоношения [14].

В емкости с плавающими грядками отмечено достоверное увеличение содержания растворенного в воде кислорода, что можно объяснить снижением необходимости его расхода на окисление аммония и нитритов в процессе нитрификации.

Таким образом, применение плавающей грядки в опытном аквариуме улучшало гидрохимические условия содержания карпов, что, в свою очередь, способствовало достоверному увеличению скорости их роста по сравнению с контролем (табл. 2): относительная скорость роста была выше на 12,5 %, а абсолютный прирост массы – в 1,7 раза при снижении кормовых затрат на 38 %.

Таблица 2

Table 2

Результаты выращивания карпов кои

Koi carp cultivation results

Показатель	Контроль (рыбы)	Опыт (рыбы + растения)
	$M \pm m$	$M \pm m$
Исходная масса, г	118,1 ± 2,1	117,4 ± 8,9
Ихтиомасса начальная, г	590,5	587,0
1-й месяц		
Масса, г	128,9 ± 1,8	136,4 ± 2,6*
Абсолютный прирост массы, г	10,8	19,0
Среднесуточный прирост массы, г	0,36	0,63
Относительный прирост, %	9,1	16,2
Ихтиомасса, г	644,5	682,0
Прирост ихтиомассы, г	54,0	95,0
2-й месяц		
Масса, г	138,7 ± 2,2	153,0 ± 2,9**
Абсолютный прирост массы, г	9,8	16,6
Среднесуточный прирост массы, г	0,33	0,55
Относительный прирост, %	7,6	12,2
Ихтиомасса, кг	693,5	765,0
Прирост ихтиомассы, г	49,0	83,0

Окончание табл. 2

Ending of Table 2

Показатель	Контроль (рыбы)	Опыт (рыбы + растения)
	$M \pm m$	$M \pm m$
В целом за опыт		
Абсолютный прирост массы, г	20,6	35,6
Относительный прирост массы, %	17,4	30,3
Ихтиомасса конечная, г	693,5	765,0
Прирост ихтиомассы, г	103,0	178,0
Затраты корма, г/г	2,9	2,1
Выживаемость, %	100	

* $P \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

Гибели рыб на протяжении всего эксперимента в контрольной и опытной группах не отмечалось.

Анализ морфометрических показателей карпов кои в конце выращивания показал достоверное уве-

личение высоты, обхвата тела рыб и коэффициента упитанности в опытном аквариуме (табл. 3), что также указывает на лучшие условия обитания и использование кормов.

Таблица 3

Table 3

Морфометрические показатели карпов в конце выращивания

Morphometric parameters of oi carp at the end of cultivation

Показатель	Контроль (рыбы)	Опыт (рыбы + растения)
Масса, г	$138,7 \pm 2,2$	$153,0 \pm 2,9^*$
Длина тела, см	$17,7 \pm 0,4$	$17,9 \pm 0,3$
Длина головы, см	$5,6 \pm 0,2$	$5,9 \pm 0,3$
Высота тела, см	$6,3 \pm 0,2$	$7,2 \pm 0,2^{**}$
Обхват тела, см	$12,8 \pm 0,3$	$14,5 \pm 0,5^{**}$
Коэффициент упитанности по Фультону, %	2,50	2,67

* $P \leq 0,01$; ** $p \leq 0,02$.

Существует мнение [15], что, поскольку основным источником азотных соединений в оборотной воде является вносимый корм, важным является соотношение массы растений, находящихся в стадии непрерывного роста и развития, и величины суточного рациона. В исследовании авторов [15] такое соотношение колебалось от 40 до 93 г корма на 1 кг выращиваемого салата. В проведенном нами исследовании данное соотношение оказалось близким по своему значению: 32,6–42,5 г корма в сутки на 1 кг массы растений.

Расчет соотношения удельного образования нитратов в результате жизнедеятельности рыб и их потребления растениями показал, что суточное количество нитратов, поглощаемых растениями в опыте, мг/сут, составило

$$N = \frac{20,7 - 0,1}{7} \cdot 200 = 588,6.$$

Определив среднюю биомассу рыб, г, на протяжении эксперимента в опытном аквариуме $M_{\text{рыб}} = (587 + 765) / 2 = 676$, находили удельное образование нитратов, мг/г в сутки, в процессе их жизнедеятельности:

$$N_o = \frac{20,7}{676 \cdot 7} \cdot 200 = 0,87.$$

При этом, зная общую массу растений, г, на плавающей грядке ($M_{\text{растений}} = 5 \cdot 36 = 180$), определили удельное потребление нитратов, мг/г в сутки, растениями:

$$N_n = 588,6 / 180 = 3,27,$$

а также соотношение удельного образования нитратов в результате жизнедеятельности рыб и поглощения их растениями, ед.:

$$A = 0,87 / 3,27 = 0,26.$$

Соответственно, результаты показывают, что на 1 кг ихтиомассы можно высадить на плавающую грядку 0,26 кг биомассы растений, что примерно соответствует 9 кустам огурцов.

Заключение

Результаты выращивания карпов кои в условиях лабораторных циркуляционных систем, в одной из которых в рыбоводной емкости применяли вы-

рашивание огурцов на плавающей грядке, показали, что совместное выращивание рыб и растений позволило существенно улучшить гидрохимический режим рыбоводной емкости по растворенному кислороду, группе азотсодержащих соединений и фосфатам. Удельное образование нитратов в пересчете на 1 кг ихтиомассы составило 0,87 г в сут-

ки, а на 1 кг рыбы целесообразно высаживать на плавающую грядку 9 растений. При этом прирост общей ихтиомассы карпов кои в опыте оказался в 1,7 раза выше, чем в контроле, а рыбопродуктивность аквариума с плавающей грядкой увеличилась на 9,3 % с одновременным снижением в 1,4 раза затрат кормов на прирост массы рыб.

Список источников

1. Киреева И. Ю. Использование ресурсосберегающих технологий в рыбхозийственных водоемах // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2009. Т. 11. № 1-2. С. 73–76.
2. Шишанова Е. И., Львов Ю. Б., Алимов И. А. Интегрированные технологии в рыбоводстве: теория и практика // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2017. № 3. С. 55–64.
3. Серветник Г. Е. Интегрированные технологии в аквакультуре // Рациональная эксплуатация биоресурсов: проблемы и возможности в контексте целей устойчивого развития ООН: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. (Москва, 19 марта 2018 г.). М.: Перо, 2018. С. 494–498.
4. Киселев А. Ю., Коваленко В. Н., Борщев В. А., Слепнев В. А. Агрогидроэкологическая безотходная производственная сельскохозяйственная рыбная продукция // Рыбоводство. 1997. № 2. С. 13.
5. Жигин А. В. Рыбоводные установки в аквакультуре: учеб. пособие. М.: ЭИПСиПабблишинг, 2018. 296 с.
6. Гамаюн Е. П., Мирзоева Л. М. Интегрированные рыбоводные хозяйства. М.: Изд-во ВНИЭРХ, 1989. 70 с.
7. Короченский И. А., Пронина Г. И., Жигин А. В. Совместное выращивание рыб и овощных культур в аквапонной системе с использованием плавающих грядок // Вopr. рыбоводства. 2024. Т. 25. № 3. С. 145–154.
8. Бессонов Н. М., Привезенцев Ю. А. Рыбхозийственная гидрохимия. М.: Агропромиздат, 1987. 159 с.
9. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
10. Новоженин Н. П., Филатов В. И. и др. Рыбоводно-биологические нормативы по выращиванию карпа, форели в установках с замкнутым циклом водообеспечения. М.: Изд-во ВНИИПРХ, 1985. 14 с.
11. Papadopoulos I. Fertigation: Present Situation and Future Prospects // Proc. of the Intern. Fertigation Workshop "Plant Nutrient Management under Pressurized Irrigation Systems in Mediterranean Region"; IMPHOS, Amman, Jordan, 25-27 April, 1999. P. 3–55.
12. Naureen Z., Sham A., Ashram H. A., Gilani S. A., Gheilani S. A., Mabood F., Hussain J., Harrasi A. A., AbuQamar S. F. Effect of phosphate nutrition on growth, physiology and phosphate transporter expression of cucumber seedlings // Plant Physiology and Biochemistry. 2018. V. 127. P. 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.028>.
13. Nikolaou G., Neocleous D., Christou A., Polycarpou P., Kitta E., Katsoulas N. Energy and Water Related Parameters in Tomato and Cucumber Greenhouse Crops in Semiarid Mediterranean Regions. A Review, Part II: Irrigation and Fertigation // Horticulturae. 2021. V. 7 (12). P. 548. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120548>.
14. Лудилев В. А. Семеноводство овощных и бахчевых культур. М.: Росинформагротех, 2005. 391 с.
15. Watten B. J., Busch R. L. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small – scale recirculating water system // Aquaculture. 1984. V. 41. N. 3. P. 271–283.

References

1. Kireyeva I. Yu. Ispolzovaniye resursoberegayushchikh tekhnologiy v rybokhozyaystvennykh vodoyemakh [The use of resource-saving technologies in fisheries reservoirs]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 1-2, pp. 73-76.
2. Shishanova E. I., Lvov Yu. B., Alimov I. A. Integrirrovannyye tekhnologii v rybovodstve: teoriya i praktika [Integrated technologies in fish farming: theory and practice]. *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2017, no. 3, pp. 55-64.
3. Servetnik G. E. Integrirrovannyye tekhnologii v akvakulture [Integrated technologies in aquaculture]. *Ratsionalnaya ekspluatatsiya bioresursov: problemy i vozmozhnosti v kontekste tseley ustoychivogo razvitiya OON: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Moskva, 19 marta 2018 g.)*. Moscow, Pero Publ., 2018. Pp. 494-498.
4. Kiselev A. Yu., Kovalenko V. N., Borshchev V. A., Slepnev V. A. Agrogidroekosistema: bezotkhodnoye proizvodstvo selskokhozyaystvennoy rybnoy produktsii [Agrohydroecosystem: waste-free production of agricultural fish products]. *Rybovodstvo*, 1997, no. 2, p. 13.
5. Zhigin A. V. *Rybovodnyye ustanovki v akvakulture: uchebnoye posobiye* [Fish farming installations in aquaculture: a training manual]. Moscow, EIPSiPublishing, 2018. 296 p.
6. Gamayun E. P., Mirzoyeva L. M. *Integrirrovannyye rybovodnyye khozyaystva* [Integrated fish farms]. Moscow, Izd-vo VNIERKh, 1989. 70 p.
7. Korochenskiy I. A., Pronina G. I., Zhigin A. V. Sovmestnoye vyrashchivaniye ryb i ovoshchnykh kultur v akvaponnoy sisteme s ispolzovaniyem plavayushchikh gryadok [Joint cultivation of fish and vegetable crops in an aquaponic system using floating beds]. *Vopr. rybovodstva*, 2024, vol. 25, no. 3, pp. 145-154.
8. Bessonov N. M., Privezentsev Yu. A. *Rybokhozyaystvennaya gidrokimiya* [Fisheries hydrochemistry]. Moscow, Agropromizdat, 1987. 159 p.
9. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Fish Study Guide]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost Publ., 1966. 376 p.
10. Novozhenin N. P., Filatov V. I. i dr. *Rybovodno-biologicheskiye normativy po vyrashchivaniyu karpa, foreli v ustanovkakh s zamknutym tsiklom vodoobespecheniya*

[Fish-breeding and biological standards for the cultivation of carp and trout in installations with a closed water supply cycle]. Moscow, Izd-vo VNIIPRKh, 1985. 14 p.

11. Papadopoulos I. Fertigation: Present Situation and Future Prospects. *Proc. of the Intern. Fertigation Workshop "Plant Nutrient Management under Pressurized Irrigation Systems in Mediterranean Region"*; IMPHOS. Amman. Jordan. 25-27 April. 1999. Pp. 3-55.

12. Naureen Z., Sham A., Ashram H. A., Gilani S. A., Gheilani S. A., Mabood F., Hussain J., Harrasi A. A., AbuQamar S. F. Effect of phosphate nutrition on growth, physiology and phosphate transporter expression of cucumber seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2018, vol. 127, pp. 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.028>.

13. Nikolaou G., Neocleous D., Christou A., Polycarpou P., Kitta E., Katsoulas N. Energy and Water Related Parameters in Tomato and Cucumber Greenhouse Crops in Semiarid Mediterranean Regions. A Review. Part II: Irrigation and Fertigation. *Horticulturae*, 2021, vol. 7 (12), p. 548. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120548>.

14. Ludilov V. A. *Semenovodstvo ovoshchnykh i bakhchevykh kultur* [Seed production of vegetable and melon crops]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2005. 391 p.

15. Watten B. J., Busch R. L. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small – scale recirculating water system. *Aquaculture*, 1984, vol. 41, no. 3, pp. 271-283.

Статья поступила в редакцию 10.03.2025; одобрена после рецензирования 28.03.2025; принята к публикации 25.11.2025

The article was submitted 10.03.2025; approved after reviewing 28.03.2025; accepted for publication 25.11.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Иозеповна Пронина – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры зоологии; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева; gidrobiont4@yandex.ru

Galina I. Pronina – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Zoology; Russian Timiryazev State Agrarian University; gidrobiont4@yandex.ru

Алексей Васильевич Жигин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева; главный научный сотрудник департамента аквакультуры; Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; azhigin@gmail.com

Alexey V. Zhigin – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping; Russian Timiryazev State Agrarian University; Head Researcher of Department of Aquaculture; Research Institute of Fisheries and Oceanography; azhigin@gmail.com

Иван Александрович Короченский – аспирант кафедры зоологии; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева

Ivan A. Korochensky – Postgraduate Student of the Department of Zoology; Russian Timiryazev State Agrarian University

