

Научная статья

УДК 639.517

DOI: 10.26428/1606-9919-2026-206-213-225

EDN: QJYOVK



## ОПЫТ ПРУДОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**В.С. Жарников\***

Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии,  
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

**Аннотация.** В летне-осенний период с 10 июня по 10 сентября 2024 г. в течение 93 сут проводились экспериментальные работы по выращиванию 40 экз. австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* в открытом пруду площадью 51,84 м<sup>2</sup>, расположенном в Московской области. Перед началом эксперимента определили гидрохимические показатели ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), температуру воды в водоеме, массу тела и длину раков. За 3 мес. эксперимента длина тела беспозвоночных увеличилась в среднем на 34,40 мм — 147,62 %, а масса — на 19,59 г, 298,27 %. Среднесуточный прирост массы раков с учетом периодического (дискретного) роста в течение всего периода исследований составил 0,210 г/сут. Наиболее благоприятную температуру воды для раков в летнее время отмечали на глубине 0,5–1,0 м от поверхности воды (19–26 °С), пониженную — на глубине 1,5–2,0 м (17–23 °С). Температура воды за весь период наблюдений в слое 0–1,8 м составила в среднем 20,6 °С. В течение эксперимента темп роста беспозвоночных увеличился в 2,5–3,0 раза в сутки в сравнении с раками, находившимися в установках замкнутого водообеспечения. Полученные результаты наглядно показали, что в летнее время имеется возможность выращивать австралийского красноклешневого рака в прудах Подмоскovie на естественной кормовой базе.

**Ключевые слова:** австралийский красноклешневый рак, прудовая аквакультура, прирост длины и массы, выживаемость, плотность посадки, температура воды

**Для цитирования:** Жарников В.С. Опыт прудового выращивания австралийского красноклешневого рака в Московской области // Изв. ТИНРО. — 2026. — Т. 206, вып. 1. — С. 213–225. DOI: 10.26428/1606-9919-2026-206-213-225. EDN: QJYOVK.

Original article

### Experience of pond cultivation of redclaw in the Moscow Region

**Vyacheslav S. Zharnikov**

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,  
19, Okruzhnoy Proezd Str., Moscow 105187, Russia

Ph.D., senior researcher, zharnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-6420-8175

\* Жарников Вячеслав Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, zharnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-6420-8175.

**Abstract.** Experiment on growing 40 Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* was conducted in the open pond with the area of 51.84 m<sup>2</sup> and depth of 1.8 m located in the Moscow Region during 93 days from June 10 to September 10, 2024. Water temperature and DIN concentration (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) were monitored in the pond. The highest temperature (most favorable for redclaw) was observed at the depth of 0.5–1.0 m (19–26 °C), the temperature at the depth of 1.5–2.0 m was lower (17–23 °C); the average temperature in the whole 0–1.8 m layer was 20.6 °C. The body length and weight of red-claw were measured. These parameters had increased in 3 months on average by 34.40 mm (148 %) and 19.59 g (298 %), respectively. The average daily weight gain throughout the entire period was evaluated as 0.210 g/day. The growth rate of redclaw in the experimental open pond was in 2.5–3.0 times higher than the growth of the same species in recirculating aquaculture systems. The results obtained demonstrate clearly possibility for cultivation of redclaw in ponds of the Moscow Region using their natural food resources.

**Keywords:** redclaw, pond aquaculture, length gain, weight gain, survival, stocking density, water temperature

**For citation:** Zharnikov V.S. Experience of pond cultivation of redclaw in the Moscow Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2026, vol. 206, no. 1, pp. 213–225. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2026-206-213-225. EDN: QJYOBK.

## Введение

Австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) впервые начали выращивать в Австралии в 1980-х гг., и уже в конце десятилетия этот вид благодаря своей высокой скорости роста превзошел другие виды раков по популярности и был признан Австралийским бюро экономики сельского хозяйства и ресурсов одним из самых перспективных объектов аквакультуры [Treadwell et al., 1991; Борисов и др., 2024а]. Объем выращивания этого вида в 2020 г. составил 226,5 т\*. Австралийский красноклешневый рак имеет свои конкурентные преимущества в сравнении с нативными (аборигенными) евразийскими видами и вызывает интерес у аквакультурных хозяйств как в России, так и по всему миру.

Основные преимущества австралийского красноклешневого рака.

— *Быстрый рост.* Красноклешневый рак растет значительно быстрее большинства местных видов. Особи этого вида достигают массы 60–120 г за один вегетационный период (5–6 мес.), тогда как продолжительность выращивания евразийских видов раков (длинно- и широкопалого) до товарного размера составляет 2–4 года.

— *Высокая плотность посадки.* В сравнении с другими видами раков (евразийскими и американскими) красноклешневый рак при интенсивной аквакультуре может содержаться с высокой плотностью посадки, что позволяет увеличить продуктивность с единицы площади.

— *Всеядность.* Красноклешневый рак неприхотлив в пище, может питаться как готовыми кормами для раков, так и растительной пищей, водорослями, детритом и бентосом. Это снижает затраты на корм.

— *Устойчивость к болезням.* Красноклешневый рак обладает относительно высокой устойчивостью к болезням, что снижает риски потерь в процессе выращивания.

— *Качество воды.* Красноклешневый рак не требователен к качеству воды в сравнении с другими видами. Евразийские раки не выносят цветение и загрязнение воды различным мусором [Борисов и др., 2014]. Красноклешневый рак легко переносит пребывание в водоеме с высокой мутностью и слабым течением, а также в стоячих и заболоченных участках.

— *Агрессивность.* Красноклешневый рак может достигать достаточно крупных размеров и является менее агрессивным в сравнении с представителями североамериканских видов [Medley et al., 1993]. Проявление умеренной агрессии у красноклешневого рака отмечали в тропической зоне Австралии, где ярко выражены сезоны дождей

\* Мировое производство аквакультуры в 2016–2020 гг. М.: ВНИРО, 2022. 252 с.

и засухи. В эти периоды происходило увеличение плотности раков в водоемах во время засухи, а с наступлением сезона дождей они рассеивались и мигрировали в затопленные участки. В этих условиях снижалась агрессивность, происходила адаптация вида для выживания и сохранения популяции.

— *Адаптируемость*. Красноклешневый рак хорошо адаптируется к различным условиям, что позволяет выращивать его как в закрытых системах (бассейнах, аквариумах), так и в открытых водоемах (прудах). Однако, по мнению Джонса и Грейди [Jones, Grady, 2000], молодь красноклешневого рака предпочтительнее выращивать в интервале температур 23–31 °С. В связи с этим в областях России с умеренным климатом возможно выращивать молодь в установках замкнутого обеспечения (УЗВ) и дорастивать их до товарного размера в прудах на естественной кормовой базе в летнее время, где температура воды устанавливается выше 20 °С.

— *Расчетный выход мяса*. По данным Р.Р. Борисова с соавторами [2024б] выход мяса у красноклешневого рака составляет 31,9 % — у самцов и 32,8 % — у самок. Это в полтора раза выше, чем у длиннопалого рака [Александрова, 2013, 2014].

Благодаря своим биологическим преимуществам в сравнении с долгорастущими аборигенными (евразийскими) видами речных раков многими исследователями [Пат. № 2525334; Пятикопова и др., 2023] проводятся работы по изучению и культивированию красноклешневого рака. Однако существенной проблемой, препятствующей развитию товарной аквакультуры тропических или субтропических видов ракообразных в России, является их неспособность акклиматизироваться в умеренном климатическом поясе. Климатические условия наших водоемов не обеспечивают ракам возможности пройти все стадии развития, от яиц до половозрелости за 3–4 летне-осенних месяца [Шокашева, 2017].

В настоящее время аквакультурой красноклешневого рака в России успешно стали заниматься в южных регионах страны с относительно теплым и продолжительным летним периодом, в частности в Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской и Волгоградской областях, Республике Крым, где появились единичные опытно-промышленные хозяйства с небольшим объемом производства — до 1 т раков в год [Борисов и др., 2024а]. В начале лета в 2024 г. был проведен эксперимент по выращиванию австралийского красноклешневого рака в пруду Подмосковья.

Цель работы — оценить эффективность прудового выращивания австралийского красноклешневого рака в теплое время года для возможного развития аквакультуры в Московской области.

## Материалы и методы

Получение посадочного материала *C. quadricarinatus* провели в аквариальной отделе аквакультуры беспозвоночных ВНИРО. Молодь раков перед высадкой в пруд содержали в емкостях объемом 200 л при температуре 24–29 °С. Для очистки воды от продуктов азотистого обмена применяли внешние фильтры Eheim 2215 и 2260 (Германия). Контроль гидрохимических показателей: содержание растворенного кислорода осуществляли мультиметром WTW Multi 3630, аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+$ ) — методикой Сэджи-Солорзано, нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) — методикой Бендшнайдера и Робинсона, нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) — методом определения, основанным на восстановлении нитратов до нитритов на кадмиевой колонке, уровень pH — мультиметром WTW Multi 3620. Необходимую температуру поддерживали водонагревателями.

Отлов раков в конце периода выращивания (8–10 сентября 2024 г.) осуществляли в вечернее время, когда повышается их активность и они охотно выползают из убежищ для поиска пищи. Вылов раков проводили в течение 3 дней, в первый день поймали 16 экз., во второй — 9 экз., а в третий — 3 экз. (всего 28 раков). Собранный материал статистически обработан с помощью программ Excel и Statistica 10.0. Для оценки достоверных различий длины и массы раков в начале и в конце экспериментов использовали критерий Стьюдента. В тексте указано стандартное отклонение.

## Результаты и их обсуждение

**Описание эксперимента.** В теплое время года в течение 93 сут с 10 июня по 10 сентября 2024 г. экспериментальные работы по выращиванию 40 экз. красноклещевого рака массой тела от 5,3 до 16,9 г (в среднем  $9,88 \pm 3,91$  г) проводили в открытом пруду овальной формы (11 × 6 м), площадью 51,84 м<sup>2</sup>, расположенном в Московской области. Перед выпуском раков провели очистку пруда от посторонних предметов (веток, досок, бутылок и т.д.), а также удалили прошлогоднюю водную растительность. Зарастание ложа пруда в период нахождения раков почти не происходило, исключение составляло появление ряски в начале сентября перед отловом раков. Для регистрации температуры воды в пруду использовали термохроны (логгеры) Temp U02 и DS1921G-F5. Максимальная глубина пруда в начале лета составила 2 м. Искусственные укрытия в пруду не использовали. Вода в пруду подпитывалась дождевой водой, и ее уровень менялся в зависимости от наличия осадков. Из-за аномально теплой погоды и малого количества осадков в конце лета 2024 г. уровень воды в пруду снизился на 1,6 м (до 40–50 см), что позволило вести отлов раков без откачки воды (рис. 1). Гидрохимические показатели ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) в период выращивания раков в пруду соответствовали нормативам\*.



Рис. 1. Подготовка пруда для выращивания раков (А, по краям мусор, извлеченный из пруда в июне 2024 г.), пруд с остаточной водой после засушливого лета в начале сентября перед отловом раков (Б)

Fig. 1. Preparation of a pond for cultivation of crayfish in June 2024, removed debris is visible outside the pond (А); the pond before the crayfish harvesting in early September 2024 (Б)

По данным О.В. Пятикоповой с соавторами [2024], выращивать австралийского красноклещевого рака можно при температуре не менее 20 °С. Однако наиболее благоприятной температурой для прудовой аквакультуры является 23–31 °С [Борисов и др., 2024б]. На основании архивных данных продолжительность периода, когда среднесуточная температура в Москве и ближнем Подмосковье с 10 июня по 10 сентября превышала 20 °С, составляла в 2024 г. 43 сут\*\*.

В момент выпуска раков в пруд среднесуточная температура воды на поверхности пруда достигла 19 °С. Для снижения температурного стресса раков при пересадке в пруд провели их акклиматизацию путем постепенного понижения температуры с 24–29 до 18–20 °С. Аквариумную воду с раками перенесли в контейнер с аэрацией (24–29 °С), но при транспортировке в вечернее время температура постепенно снизилась до 18–20 °С, что соответствовало естественной температуре в пруду в ночное время.

\* Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412008824>.

\*\* Архив погоды в Москве (ВДНХ). URL: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Москве\\_\(ВДНХ\)](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Москве_(ВДНХ)).

Перед выпуском раков в пруд измерили их длину от конца рострума до конца тельсона без учета щетинок с точностью до 0,1 см, определили массу тела на электронных весах Superior mini digital i 2000 с точностью до 0,01 г и провели измерение основных гидрохимических показателей: содержание кислорода, активной реакции среды (рН), аммонийного азота, нитритов и нитратов. За технологические нормы состояния среды условно приняты обобщенные химические показатели воды хозяйств по выращиванию речных раков [Борисов и др., 2011], нормативы качества и ПДК\*.

Раков выращивали в пруду с уже сформировавшейся естественной кормовой базой без дополнительного кормления. Их пищевые потребности в прудах не ограничиваются представителями зоопланктона и зообентоса и могут включать детрит и макрофиты, часто составляющие 70 % потребленной пищи [Воробьева и др., 2024]. Концентрации аммонийного азота и нитритов в исследуемом пруду не выходили за верхнюю границу предельно допустимых значений. Высшая водная растительность была удалена перед выпуском раков в пруд, так как она снижает продуктивность пруда [Пятикопова и др., 2024].

**Плотность посадки и выживаемость раков.** На момент выпуска молоди в пруд плотность посадки составила 0,77 экз./м<sup>2</sup>. По рекомендациям Р.Р. Борисова с соавторами [2024а] плотность посадки раков массой от 5 г и более должна составлять при экстенсивном выращивании не более 3 экз./м<sup>2</sup>. В экспериментальном пруду плотность их посадки была в четыре раза меньше рекомендуемой. Однако из-за жаркой погоды и отсутствия осадков площадь пруда в августе-сентябре сократилась с 51,84 (11 × 6 м) до 25,13 м<sup>2</sup> (8 × 4 м), а из 40 особей, выпущенных в пруд, выловлено всего 28 экз. (средней массой тела 29,47 ± 5,81 г). Таким образом, плотность раков в конце эксперимента возросла с 0,77 до 1,11 экз./м<sup>2</sup>, а фактический выход составил 70 %. Данные о выживаемости красноклешневого рака при выращивании в прудовых хозяйствах, полученные другими авторами, варьируют от 53,5 до 83,9 % (табл. 1).

Вероятно, колебания температуры воды в процессе эксперимента несущественно отразились на выживаемости раков в пруду. По данным Н.К. Юдина с соавторами [2024], на выживаемость особей красноклешневого рака в летнее время не влияют климатические особенности Московской области. Известно, что австралийский красноклешневый рак является тропическим видом и не выдерживает длительного пребывания при температуре ниже 10 °С [King, 1994; Semple et al., 1995]. Установлено, что красноклешневый рак может выдерживать в течение некоторого времени и более низкие температуры, но не сможет перезимовать в условиях Европы [Veselý et al., 2015]. При температуре воды 11–12 °С раки полностью отказывались от пищи, а при 14–15 °С отмечены случаи питания, но интенсивность была низкой, также во всех случаях линька особей в это время заканчивалась гибелью. При температуре воды 17–20 °С особи питались активнее, однако интенсивность питания и интерес к кормовым объектам были значительно ниже, чем при 23–25 °С [Борисов и др., 2024б]. Низкие температуры воды блокируют репродуктивные функции. Проблемы с развитием яиц наблюдали уже при 21–22 °С [Curtis, Jones, 1995], а для спаривания нужна температура воды выше 23 °С [Lawrence, Jones, 2002].

**Прирост длины и массы.** За 3 мес. эксперимента средняя длина раков в пруду достоверно увеличилась ( $p < 0,0001$ ) с 72,23 ± 9,17 до 106,63 ± 16,61 мм. Прирост длины составил 34,4 мм (147,62 %). Средняя масса тела достоверно увеличилась ( $p < 0,0001$ ) с 9,88 ± 3,91 до 29,47 ± 5,81 г, прирост составил 19,59 г (298,27 %) (табл. 2).

По данным Джонса и Грейди [Jones, Grady, 2000] минимальная масса красноклешневого товарного рака находится в диапазоне от 30 до 50 г (в среднем 40 г). По нашим данным только 28,5 % раков превысили массу 40 г при длине более 113,3 мм. Максимальные значения массы тела и длины раков составили 47,6 г и 123,8 мм, минимальные — 16,8 г и 86,4 мм (рис. 2).

\* Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. № 296...

## Результаты выращивания красноклешневого рака в прудах

Table 1

## Results of redclaw rearing in the pond

Длительность выращ., сут	Начальная масса, г	Конечная масса, г	Абсол. прирост массы, г/среднесут. прирост массы, г/сут	Плотность по- садки, экз./м <sup>2</sup>	Факти- ческий выход раков, %	Удель. скорость роста массы, % сут	Коэф. массо- накоп- ления	Источник данных
93	9,88 ± 3,91	29,47 ± 5,81	19,59/0,210	0,77	70,0	1,175	0,0304	Наши данные
90	8,00 ± 3,30	72,40 ± 22,60	64,40/0,715	0,15	82,7	2,447	0,0722	О.В. Пятикопова с соавторами [2024]
89	1,76 ± 1,22	71,14 ± 25,66	69,38/0,779	0,20	78,7	4,156	0,0989	О.В. Пятикопова с соавторами [2023]
158	3,20	67,00 ± 0,10	63,80/0,403	1,00	71,0	1,925	0,0491	Pinto, Rouse [1996]
97	0,40 ± 0,01	40,00 ± 10,3	39,60/0,408	0,67	50,7	4,747	0,0829	Д.И. Шокашева [2017]
117	4,60 ± 2,20	79,83 ± 5,02	75,23/0,642	2,50	61,1	2,439	0,0677	Thompson с соавторами [2004]
62	5,10 ± 3,14	32,51 ± 14,41	27,41/0,442	5,00	68,4	2,987	0,0711	О.В. Пятикопова с соавторами [2023]
75	1,00–3,00	29,20	27,2/0,362	–	53,5	3,574	0,0727	Н.К. Юдин с соавторами [2024]

Таблица 2

## Изменение длины, массы тела и выживаемость австралийского красноклешневого рака в ходе эксперимента в пруду Московской области

Table 2

## Dynamics of body length, weight, and survival for redclaw in the experiment

Показатель	Начало эксперимента	Конец эксперимента
Количество особей, экз.	40	28
Средняя длина особей, мм	72,23 ± 9,17	106,63 ± 16,61
Диапазон длины особей, мм	57,7–86,7	86,4–126,8
Длина Cv, %	12,67	15,68
Средняя масса особей, г	9,88 ± 3,91	29,47 ± 5,81
Диапазон массы особей, г	5,3–16,9	16,6–47,6
Масса Cv, %	39,67	19,43
Фактический выход раков за весь срок эксперимента, %	–	70,0

По визуальным наблюдениям в начале лета в течение месяца (с 10 июня по 10 июля) раки обитали на глубине до 1 м от поверхности воды, где вода постепенно прогрелась до 25,8 °С. В это время на глубине более 1,0 м от поверхности вода прогрелась всего лишь до 20,3 °С (рис. 3). Такая температура воды является недостаточно комфортной для красноклешневых раков, поэтому животные держались в более прогретых

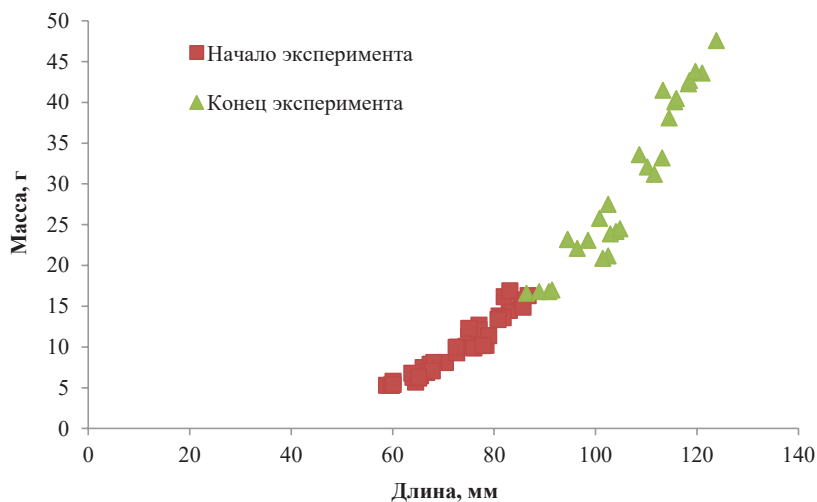


Рис. 2. Динамика размерно-массовых характеристик австралийского красноклешневого рака, выращиваемого в пруду Подмосковья

Fig. 2. Dynamics of size and weight for redclaw in the experiment

слоях воды (на глубине не более 1 м). В июле стояла жаркая погода, температура воды была в пределах от 19,0 до 25,8 °С при минимальном количестве осадков, и, как следствие этого, уровень воды в пруду начал снижаться с 1,8 м в июле до 1,0 м в августе. Средняя температура воды в конце августа уменьшилась с 23,3 до 20,1 °С. В начале сентября уровень воды продолжил снижение до 0,4–0,5 м, а температура воды к этому времени уменьшилась от 22,6 до 16,8 °С. По мнению многих авторов [Jones, Grady, 2000; Борисов и др., 2024а], оптимальная температура для выращивания красноклешневого рака в прудовой аквакультуре составляет 23–31 °С. По нашим данным в период эксперимента 2024 г. температура воды в пределах оптимума (23–31 °С) отмечалась в основном в верхних слоях пруда до глубины 1 м в течение 28 сут (рис. 3).

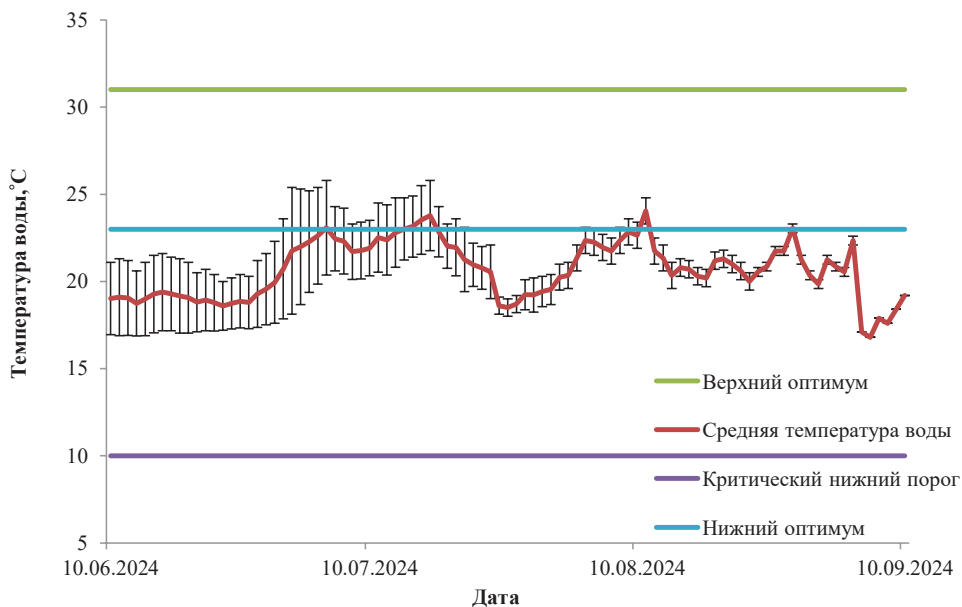


Рис. 3. Динамика средней температуры воды в пруду в период проведения эксперимента. Интервалы показывают амплитуду температуры воды в пруду на разных глубинах

Fig. 3. Dynamics of water temperature in the pond during the experiment (average value and range by depth are shown)

В пруду, расположенном в Московской области, из-за низкой температуры воды удельная скорость роста массы в сутки (%) и коэффициент массонакопления у раков в 2–4 раза ниже, чем в прудовых хозяйствах Астраханской области и Австралии. Так, среднесуточный прирост массы тела красноклешневого рака в пруду Подмосковья составил 0,210 г/сут, а в прудах Астраханской области варьировал от 0,408 до 0,779 г/сут (см. табл. 1) [Шокашева, 2017; Пятикопова и др., 2023, 2024]. Среднесуточный прирост массы раков в водоеме Московской области был в 2–4 раза меньше, чем в прудовых хозяйствах Астраханской области, но выше в 2,5 раза, чем в УЗВ, где температура воды постоянно поддерживается выше 23 °С. Однако в некоторых случаях при выращивании мелкой молоди в УЗВ удельная скорость роста массы в сутки (%) и коэффициент массонакопления были почти сопоставимы с показателями прудовой аквакультуры (табл. 3).

Таблица 3  
Результаты выращивания красноклешневого рака в УЗВ  
Table 3  
Results of redclaw rearing in a recirculating aquaculture system

Длительность выращивания, сут	Начальная масса, г	Конечная масса, г	Абсол. прирост массы, г/среднесут. прирост массы, г/сут	Плотность посадки, экз./м <sup>2</sup>	Выживаемость, %	Удель. скорость роста массы, % сут	Коэф. массонакопления	Источник данных
140	8,50 ± 1,71	12,68 ± 2,55	4,18/0,029	75,0	26,7	0,285	0,0062	В.С. Жарников с соавторами [2025]
58	0,57 ± 0,06	5,87 ± 0,80	5,30/0,091	44,4	55,0	4,020	0,0504	В.А. Арыстангалиева [2017]
90	6,35 ± 0,78	14,13 ± 1,50	7,78/0,086	76,0	53,9	0,888	0,0188	Б.М. Анкешева с соавторами [2021]
40	0,31 ± 0,06	2,64 ± 0,84	2,33/0,058	44,0	90,0	5,354	0,0528	Р.Р. Борисов с соавторами [2022]
42	42,12 ± 3,50	50,15 ± 4,32	8,03/0,191	20,0	85,0	0,415	0,0148	Д.В. Рудой с соавторами [2025]
21	23,85 ± 7,35	25,96 ± 8,87	2,11/0,100	18,0	88,9	0,403	0,0117	Ю.А. Ромашова, А.Б. Дельмухаметов [2025]
90	0,080 ± 0,001	4,20 ± 0,60	4,12/0,045	–	74,0	4,400	0,0394	Р.С. Асылбекова, С.К. Койшыбаева [2024]

Таким образом, прирост длины и массы тела раков в пруду Подмосковья за 3 мес. эксперимента был в 2,5 раза больше, чем у таких же особей в УЗВ, но меньше в 2–4 раза, чем выращенных в южных районах России и в Австралии. Факторы, влияющие на медленный рост раков в УЗВ, это некачественное питание, высокая плотность, агрессивное поведение, выделение животными химических соединений, подавляющих рост и не удаляемых обычной биологической фильтрацией [Rodríguez-Canto et al., 2002]. Даже в случае содержания в индивидуальных ячейках у мелких особей в окружении крупных наблюдалось снижение скорости роста [Barki et al., 2006]. Вероятно, более быстрому росту раков в пруду в сравнении с УЗВ способствовали: больше пространства для передвижения и поиска разнообразной пищи, найденные укрытия,

низкое содержание аммония, нитритов и нитратов, незначительная плотность посадки, суточное колебание температуры воды и режим фотопериода. Таким образом, обеспечить условия для выращивания красноклешневых раков в УЗВ, приближенные к прудовым, маловероятно и нерентабельно для создания аквакультуры.

### **Заключение**

Проведенный эксперимент по выращиванию австралийского красноклешневого рака в теплое время года показал, что, несмотря на то что температура воды в пруду за весь период эксперимента была на уровне оптимума (23 °С и выше) всего 28 сут, особи хорошо росли в водоеме, расположенном в Подмоскowie, удельная скорость роста массы в сутки (%) и коэффициент массонакопления были в 2,5 раза выше, чем у выращиваемых в УЗВ. Однако вследствие пониженной температуры воды в пруду Подмоскowie в сравнении с условиями в южных регионах России раки набирали массу тела в 3–4 раза медленнее. Проведенный эксперимент показал, что предпочтительнее вначале выращивать молодь в УЗВ, а в теплое время года выпускать раков среднего размера (более 10 г) в неглубокие пруды с естественной кормовой базой на период 80–100 дней (в зависимости от температуры воды в водоеме). В результате сокращаются затраты (корма, электричество, износ оборудования т.д.) при получении товарной массы особей. Такой способ выращивания красноклешневого рака в прудах Подмоскowie в теплый период года является эффективным в связи с быстрым увеличением массы тела особей за короткий период времени.

### **Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)**

Автор выражает благодарность ведущему специалисту отдела аквакультуры беспозвоночных ВНИРО Ирине Николаевне Никоновой за существенную помощь в предоставлении живого материала для проведения эксперимента.

The author is sincerely grateful to Irina Nikolaevna Nikonova (VNIRO) for her significant assistance in providing living material for the experiment.

### **Финансирование работы (FUNDING)**

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

The study was conducted using budget funding of VNIRO.

### **Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)**

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented. The author declares no conflict of interest.

### **Список литературы**

Анкешева Б.М., Тангатарова Р.Р., Пятиколопова О.В. Формирование ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в индустриальной аквакультуре // Изв. ТИПРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 948–959. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959.

Александрова Е.Н. Научные подходы к доместикации российских речных раков // Вестн. РАСХН. — 2014. — № 1. — С. 57–61. EDN: SCCFVB.

Александрова Е.Н. Российские речные раки как объекты пищевого потребления // Вестн. РАСХН. — 2013. — № 5. — С. 59–63. EDN: RDNRPТ.

Арыстангалиева В.А. Разработка технологии выращивания посадочного материала австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в установке с замкнутым

водоиспользованием : автореф. дис. ... канд. сельскохоз. наук. — М. : РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017. — 24 с. EDN: LHSLEB.

**Асылбекова С., Койшыбаева С.К.** Результаты выращивания австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) в индустриальных условиях // Наука и образование. — 2024. — Т. 2, № 4(77). — С. 157–167. DOI: 10.52578/2305-9397-2024-4-2-157-166. EDN: IUILOH.

**Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Артемов Р.В. и др.** Оценка эффекта применения комбикормов с различным уровнем белка для молоди австралийского красноклещевого рака в условиях УЗВ // Тр. ВНИРО. — 2022. — Т. 187. — С. 128–137. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137. EDN: DTIGNG.

**Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Жигин А.В. и др.** Аквакультура австралийского красноклещевого рака *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) : моногр. — М. : ВНИРО, 2024а. — 200 с.

**Борисов Р.Р., Жигин А.В., Ковачева Н.П., Кряхова Н.В.** Биологические аспекты культивирования австралийского красноклещевого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) в России // Рыб. хоз-во. — 2024б. — № 3. — С. 80–91. DOI: 10.36038/0131-6184-2024-3-80-92. EDN: PMQTUQ.

**Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Паршин-Чудин А.В.** Управление пространственным распределением десятиногих ракообразных (отр. Decapoda) при культивировании в искусственных условиях // Рыб. хоз-во. — 2014. — № 3. — С. 84–89. EDN: TCWUKV.

**Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Чертопруд Е.С.** Биология, воспроизводство и культивирование речных раков : моногр. — М. : ВНИРО, 2011. — 96 с.

**Воробьева Л.В., Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Пятикопова О.В.** Пищевой спектр австралийского красноклещевого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) в прудах Астраханской области // Рос. журн. биол. инвазий. — 2024. — Т. 17, № 1. — С. 8–22. DOI: 10.35885/1996-1499-17-1-08-22. EDN: DAINEB.

**Жарников В.С., Никонова И.Н., Глазунов А.А.** Особенности роста и выживаемости австралийского красноклещевого рака при иммобилизации клешней в искусственных условиях // Рыбовод. и рыб. хоз-во. — 2025. — № 2. — С. 102–114. DOI: 10.33920/sel-09-2502-03. EDN: NARPO.

**Пат. № 2525334.** Способ непрерывного разведения тропических раков / А.И. Хорошко, В.Н. Крючков. — Заявл. 12.11.2012; Оpubл. 10.08.2014.

**Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Тангатарова Р.Р.** Опыт прудового выращивания красноклещевого рака в Астраханской области // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 659–669. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

**Пятикопова О.В., Харченко Н.Н., Бедрицкая И.Н. и др.** Рекомендации по выращиванию молоди австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) в индустриальных условиях // Рыбовод. и рыб. хоз-во. — 2023. — Т. 17, № 7. — С. 458–469. DOI: 10.33920/sel-09-2307-03. EDN: WKRSYZ.

**Ромашова Ю.А., Дельмухаметов А.Б.** Совместное выращивание австралийского красноклещевого рака и микроводорослей в аквапонной установке // Изв. КГТУ. — 2025. — № 76. — С. 38–51. DOI: 10.46845/1997-3071-2025-76-38-51. EDN: MDFXFX.

**Рудой Д.В., Ольшевская А.В., Шевченко В.Н. и др.** Темпы роста самок австралийского красноклещевого рака *Cherax quadricarinatus* Von Martens, 1868 в УЗВ в период адаптации к индустриальным условиям // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. — 2025. — № 2. — С. 69–77. DOI: 10.5281/zenodo.15088819. EDN: WGUUVS.

**Шокашева Д.И.** Прудовое выращивание австралийского красноклещевого рака в условиях Астраханской области // Вестн. рыбохоз. науки. — 2017. — Т. 4, № 4(16). — С. 14–18. EDN: XTTVBR.

**Юдин Н.К., Бубунец Э.В., Чижеликов М.А.** Опыт летнего выращивания австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) в прудах в первой зоне рыбоводства // Современные технологии и технические решения для агропромышленного комплекса : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. — Ижевск : УдГАУ, 2024. — С. 61–66. EDN: PUNGLN.

**Barki A., Karplus I., Manor R. et al.** Growth of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in a three-dimensional compartments system: Does a neighbor matter? // Aquaculture. — 2006. — Vol. 252, № 2–4. — P. 348–355. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.07.012.

**Curtis M.C., Jones C.M.** Observations on monosex culture of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* von Martens (Decapoda: Parastacidae) in earthen ponds // J. World Aquacult. Soc. — 1995. — Vol. 26, № 2. — P. 154–159. DOI: 10.1111/j.1749-7345.1995.tb00238.x.

**Jones C.M., Grady J.A.** Redclaw from harvest to market. A manual of handling procedures. — Australia : Freshwater Fisheries and Aquaculture Centre, 2000. — 35 p.

**King C.R.** Growth and survival of redclaw crayfish hatchlings (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in relation to temperature, with comments on the relative suitability of *Cherax quadricarinatus* and *Cherax destructor* for culture in Queensland // Aquaculture. — 1994. — Vol. 122, № 1. — P. 75–80.

**Lawrence C., Jones C.** Chapter Cherax // Biology of Freshwater Crayfish. — Oxford : Blackwell Science, 2002. — P. 635–670.

**Medley P.B., Rouse D.B., Brady Y.J.** Interactions and disease relationships between Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in communal culture ponds // Freshwater Crayfish. — 1993. — Vol. 9. — P. 50–56. DOI: 10.5869/fc.1993.v9.50.

**Pinto G.F., Rouse D.B.** Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds // J. World Aquacul. Soc. — 1996. — Vol. 27, № 2. — P. 187–193. DOI: 10.1111/j.1749-7345.1996.tb00268.x.

**Rodríguez-Canto A., Arredondo-Figueroa J.L., Ponce-Palafox J.T., Rouse D.B.** Growth characteristics of the Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, cultured in an indoor recirculating system // J. Appl. Aquacult. — 2002. — Vol. 12(3). — P. 59–64. DOI: 10.1300/J028v12n03\_06.

**Simple G.P., Rouse D.B., McLain K.R.** *Cherax destructor*, *C. tenuimanus* and *C. quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae): a comparative review of biological traits relating to aquaculture potential // Freshwater Crayfish. — 1995. — Vol. 8. — P. 495–503. DOI: 10.5869/fc.1995.v8.495.

**Thompson K.R., Muzinic L.A., Engler L.S. et al.** Effects of feeding practical diets containing various protein levels on growth, survival, body composition, and processing traits of Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and on pond water quality // Aquaculture Research. — 2004. — Vol. 35(7). — P. 659–668. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2004.01063.x. EDN: EBPCJL.

**Treadwell R., McKelvie L., Maguire G.** Profitability of selected aqua cultural species. — Canberra, Australia : Austr. Bur. Agricult. Resource Econ., 1991. — 85 p.

**Vesely L., Buřič M., Kouba A.** Hardy exotics species in temperate zone: Can «warm water» crayfish invaders establish regardless of low temperatures? // Sci. Rep. — 2015. — Vol. 5. 16340. — P. 1–7. DOI: 10.1038/srep16340.

## References

**Ankesheva, B.M., Tangatarova, R.R., and Pyatikopova, O.V.**, Growing of replacement broodstock for australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial aquaculture, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 948–959. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959

**Aleksandrova, Ye.N.**, Scientific approaches to domestication of Russian crayfish, *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2014, no. 1, pp. 57–61. EDN: SCCFVB

**Aleksandrova, Ye.N.**, Russian river crawfish as an food consumption, *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2013, no. 5, pp. 59–63. EDN: RDNRP

**Arystangalieva, V.A.**, Development of technology for growing planting material of the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in an installation with closed water use, *Cand. Sci. (Agricultural.) Dissertation*, Moscow: RGAU-MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2017. EDN: LHSLEB

**Assylbekova, S. and Koishybayeva, S.K.**, Results of cultivation of australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial conditions, *Nauka i obrazovaniye*, 2024, vol. 2, no. 4(77), pp. 157–167. doi 10.52578/2305-9397-2024-4-2-157-166. EDN: IUILOH

**Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., Artemov, R.V., Nikonova, I.N., Arnautov, M.V., Artemov, A.V., and Gershunskaya, V.V.**, Efficiency assessment of the use of compound feeds with protein different levels for juveniles Australian red claw crayfish in RAS conditions, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 187, pp. 128–137. doi 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137. EDN: DTIGNG

**Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., Zhigin, A.V., Nikonova, I.N., and Kryakhova, N.V.**, *Akvakul'tura avstraliyskogo krasnokleshneвого raka Cherax quadricarinatus (Von Martens, 1868)* (Aquaculture of Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868)), Moscow: VNIRO, 2024.

**Borisov, R.R., Zhigin, A.V., Kovacheva, N.P., and Kryakhova, N.V.**, Biological aspects of cultivation of the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in Russia, *Rybn. Khoz.*, 2024, no. 3, pp. 80–91. doi 10.36038/0131-6184-2024-3-80-92. EDN: PMQTUQ

**Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., and Parshin-Chudin, A.V.**, Decapoda spacing management of the process of cultivation under artificial conditions, *Rybn. Khoz.*, 2014, no. 3, pp. 84–89. EDN: TCWUKV

**Borisov, R.R., Kovatcheva, N.P., Chertoprud, E.S.,** Biology, reproduction and cultivation of freshwater crayfish. Moscow: VNIRO, 2011.

**Vorob'eva, L.V., Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., and Pyatikopova, O.V.,** Food spectrum of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) in the ponds of the Astrakhan region, *Ros. zhurn. biol. invaziy*, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 8–22. doi 10.35885/1996-1499-17-1-08-22. EDN: DAINEB

**Zharnikov, V.S., Nikonova, I.N., and Glazunov, A.A.,** Features of growth and survival of the Australian red-claw crayfish during immobilization of claws in artificial conditions, *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2025, no. 2, pp. 102–114. doi 10.33920/sel-09-2502-03. EDN: NARIIO

**Khoroshko, A.I. and Krjuchkov, V.N.,** Patent RU 2525334 C2, Method of continuous breeding tropical crawfish, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2014, no. 22.

**Pyatikopova, O.V., Bedritskaya, I.N., Popov, D.A., and Tangatarova, R.R.,** Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 659–669. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV

**Pjaticopova, O.V., Harchenko, N.N., Bedrickaja, I.N., Ankesheva, B.M., Tangatarova, R.R., and Romanenkova, E.N.,** Recommendations for growing young Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial conditions, *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2023, vol. 17, no. 7, pp. 458–469. doi 10.33920/sel-09-2307-03. EDN: WKRSYZ

**Romashova, Yu.A. and Delmukhametov, A.B.,** Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in aquaponic installation, *Izv. KSTU*, 2025, no. 76. pp. 38–51. doi 10.46845/1997-3071-2025-76-38-51. EDN: MDFXFX

**Rudoy, D.V., Olshevskaya, A.V., Shevchenko, V.N., Golovko, L.S., and Oganisyan, M.M.,** Growth rates of female Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* Von Martens, 1868 in RAS during the period of adaptation to industrial conditions, *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoy regiona*, 2025, no. 2, pp. 69–77. doi 10.5281/zenodo.15088819. EDN: WGUUVS

**Shokasheva, D.I.,** Breeding of Australian red claw crayfish in ponds of Astrakhan region, *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki*, 2017, vol. 4, no. 4(16), pp. 14–18. EDN: XTTVBR

**Yudin, N.K., Bubunets, E.V., and Chizhelikov, M.A.,** Experience of summer cultivation of Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in ponds in the first fish farming zone, in *Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Sovremennyye tekhnologii i tekhnicheskiye resheniya dlya agropromyshlennogo kompleksa"* (Intern. Sci.-Pract. Conf. "Modern technologies and technical solutions for the agro-industrial complex"), Izhevsk: Udmurtskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2024. pp. 61–66. EDN: PUNGLN

**Barki, A., Karplus, I., Manor, R., Parnes, S., Aflalo, E.D., and Sagi, A.,** Growth of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in a three-dimensional compartments system: Does a neighbor matter?, *Aquaculture*, 2006, vol. 252, no. 2–4, pp. 348–355. doi 10.1016/j.aquaculture.2005.07.012

**Curtis, M.C. and Jones, C.M.,** Observations on monosex culture of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* von Martens (Decapoda: Parastacidae) in earthen ponds, *J. World Aquacult. Soc.*, 1995, vol. 26, no. 2, pp. 154–159. doi 10.1111/j.1749-7345.1995.tb00238.x

**Jones, C.M. and Grady, J.A.,** Redclaw from harvest to market. *A manual of handling procedures*, Australia: Freshwater Fisheries and Aquaculture Centre, 2000.

**King, C.R.,** Growth and survival of redclaw crayfish hatchlings (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in relation to temperature, with comments on the relative suitability of *Cherax quadricarinatus* and *Cherax destructor* for culture in Queensland, *Aquaculture*, 1994, vol. 122, no. 1, pp. 75–80.

**Lawrence, C. and Jones, C.,** Chapter Cherax, *Biology of Freshwater Crayfish*, Oxford: Blackwell Science, 2002, pp. 635–670.

**Medley, P.B., Rouse, D.B., and Brady, Y.J.,** Interactions and disease relationships between Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in communal culture ponds, *Freshwater Crayfish*, 1993, vol. 9, pp. 50–56. doi 10.5869/fc.1993.v9.50

**Pinto, G.F. and Rouse, D.B.,** Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds, *J. World Aquacul. Soc.*, 1996, vol. 27, no. 2, pp. 187–193. doi 10.1111/j.1749-7345.1996.tb00268.x

**Rodríguez-Canto, A., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Palafox, J.T., and Rouse, D.B.,** Growth characteristics of the Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, cultured in an indoor recirculating system, *J. Appl. Aquacult.*, 2002, vol. 12, no. 3, pp. 59–64. doi 10.1300/J028v12n03\_06

**Semple, G.P., Rouse, D.B., and McLain, K.R.**, *Cherax destructor*, *C. tenuimanus* and *C. quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae): a comparative review of biological traits relating to aquaculture potential, *Freshwater Crayfish*, 1995, vol. 8, pp. 495–503. doi 10.5869/fc.1995.v8.495

**Thompson, K.R., Muzinic, L.A., Engler, L.S., Morton, S.R., and Webster, C.D.**, Effects of feeding practical diets containing various protein levels on growth, survival, body composition, and processing traits of Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and on pond water quality, *Aquaculture Research*, 2004, vol. 35, no. 7, pp. 659–668. doi 10.1111/j.1365-2109.2004.01063.x. EDN: EBPCJL

**Treadwell, R., McKelvie, L., and Maguire, G.**, *Profitability of selected aqua cultural species*, Australia : Austr. Bur. Agricult. Resource Econ., 1991.

**Vesely, L., Buřič, M., and Kouba, A.**, Hardy exotics species in temperate zone: Can «warm water» crayfish invaders establish regardless of low temperatures?, *Sci. Rep.*, 2015, vol. 5, 16340, pp. 1–7. doi 10.1038/srep16340

*Mirovoye proizvodstvo akvakul'tury v 2016–2020 gg.* (World aquaculture production in 2016–2020), Moscow: VNIRO, 2022.

*Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 26 Maya 2025 g. № 296 «Ob utverzhenii normativov kachestva vody vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy zagryaznyayushchikh veshchestv v vodakh vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya»* (Order of the Federal Agency for Fisheries dated May 26, 2025 no. 296 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of pollutants in the waters of water bodies of fishery importance”). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412008824>. Cited February, 17, 2026.

*Arkhiv pogody v Moskve (VDNKH)* (Weather archive in Moscow (VDNKh)). URL: [https://rp5.ru/Arkhiv\\_pogody\\_v\\_Moskve\\_\(VDNKH\)](https://rp5.ru/Arkhiv_pogody_v_Moskve_(VDNKH)). Cited December 15, 2025.

*Поступила в редакцию 26.01.2026 г.*

*После доработки 5.03.2026 г.*

*Принята к публикации 6.03.2026 г.*

*The article was submitted 26.01.2026; approved after reviewing 5.03.2026; accepted for publication 6.03.2026*