



УДК 639.515

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА (*CHERAX QUADRICARINATUS*) В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 О. В. Пятикопова, Б. М. Анкешева, Р. Р. Тангатарова, И. Н. Бедрицкая

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань 414056, Россия
E-mail: kurkembraevab@mail.ru*

Аннотация. Традиционная аквакультура полностью зависит от внешних условий, таких как состав и качество воды, содержание растворенного в воде кислорода, а также температура, годовой ход которой определяет продолжительность периода культивирования ракообразных. Цель работы — определение основных гидрохимических условий выращивания австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) (далее АККР) в Астраханской области и сравнение полученных результатов с обобщенными показателями воды хозяйств по выращиванию речных раков и известными нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. При выполнении работы технологические условия культивирования АККР определялись по основным гидрохимическим показателям в р. Волга, прудах и УЗВ (установках замкнутого водоснабжения). Для сравнения основных гидрохимических показателей воды за технологические нормы условно приняты обобщенные химические показатели воды хозяйств по выращиванию речных раков и ПДК (предельно допустимые концентрации). По результатам исследования были определены технологические условия и сроки ведения аквакультуры австралийского красноклешневого рака в Астраханской области в прудах и УЗВ. Лимитирующим фактором в этом случае выступает температура воды, ограничивающая сроки культивирования тропических раков в условиях естественных температур. При выращивании объекта в установке замкнутого водоснабжения, для оптимизации процесса, следует проводить регулярный контроль гидрохимических показателей и принимать меры по снижению концентрации азотных соединений (аммонийный азот и нитриты), средние значения которых во входящей воде из водоисточника, оборотной воде в УЗВ и воде эксплуатируемых прудов были выше оптимальных рекомендованных значений. Концентрация нитратов не превышала оптимальное значение, рекомендованное при выращивании раков. По результатам исследований было выявлено, что для успешного ведения аквакультуры австралийского красноклешневого рака в Астраханской области целесообразно использовать комбинированное выращивание данного объекта (в контролируемых условиях и прудах). Лимитирующим фактором на этапе прудового выращивания выступает температура воды. Результаты исследований показали необходимость дополнительного изучения влияния нитритного азота на основные физиологические и размерно-массовые характеристики красноклешневых раков и определения способов корректировки концентраций нитритов при содержании АККР в УЗВ и прудах.

Ключевые слова: аквакультура, австралийский красноклешневый рак, установка с замкнутой системой водоснабжения, пруды, водоисточник, гидрохимические показатели, оборотная вода, биофильтр

**SOME ASPECTS OF THE GROWING CONDITIONS OF THE
AUSTRALIAN RED-CLAWED CRAYFISH (*CHERAX QUADRICARINATUS*)
IN THE ASTRAKHAN REGION**

O. V. Pyatikorova, B. M. Ankesheva, R. R. Tangatarova, I. N. Bedritskaya

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Volga-Caspian Branch of the FSBSI "VNIRO" ("CaspNIRKH"), Astrakhan 414056, Russia
E-mail: kurkembraevab@mail.ru*

Abstract. Traditional aquaculture is completely dependent on external conditions, such as the composition and quality of water, the content of oxygen dissolved in water, and the temperature, the annual course of which determines the duration of the cultivation period for crustaceans. This work is aimed to determine the main hydrochemical conditions for the cultivation of the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) (hereinafter ACCR) in the Astrakhan Region and compare the results with the composite indices of water quality at the farms for the cultivation of river crayfish and the established water quality standards for the water bodies of fishery importance. In the course of this work, the technological conditions for the cultivation of the Australian red-clawed crayfish were determined based on the main hydrochemical characteristics of the water in the Volga River, ponds, and recirculating aquaculture systems. To compare the main hydrochemical characteristics of water, the composite chemical indices of water quality at the farms for the cultivation of river crayfish and MAC (maximum allowable concentrations) are conventionally accepted as the operational standards. Based on the results of this investigation, the technological conditions and duration of cultivation of the Australian red-clawed crayfish in ponds and recirculating aquaculture systems have been determined for the Astrakhan Region. The limiting factor in this case is the water temperature, which limits the growing duration of tropical crayfish in its natural environment. When growing this species in a recirculating aquaculture system, in order to optimize the process, the monitoring of hydrochemical parameters should be carried out and measures should be taken to reduce the concentration of nitrogen compounds (ammonium nitrogen and nitrites), the average values of which in the incoming water from a water source, the recycled water in a recirculating aquaculture system and the water in the ponds in use were higher than the optimal recommended values. The concentration of nitrates did not exceed the optimal value recommended for crayfish cultivation. Based on the results of this investigation, it was revealed that, for the successful aquaculture of the Australian red-clawed crayfish in the Astrakhan Region, it is advisable to use the mixed cultivation method for this species (both in controlled conditions and ponds). The limiting factor at the stage of pond cultivation is the water temperature. The results of this study showed the need for additional investigation of the effect of nitrite nitrogen on the main physiological and length–weight characteristics of red-clawed crayfish and for finding the methods of controlling the content of nitrites in the growing environment of the Australian red-claw crayfish, namely recirculating aquaculture systems and ponds.

Keywords: aquaculture, Australian red-claw crayfish, recirculating aquaculture system, ponds, water source, hydrochemical characteristics, recycled water, biofilter

ВВЕДЕНИЕ

Тропические виды гидробионтов, в т. ч. ракообразных, являются перспективными объектами аквакультуры, список которых постоянно расширяется. При этом технология товарного производства данных объектов в искусственных условиях находится на стадии разработки и в ряде случаев требует учета природных особенностей, определяющих специфику культивирования ракообразных в различных климатических зонах России.

Традиционная аквакультура полностью зависит от внешних условий, таких как состав и качество воды, содержание растворенного в воде кислоро-

да и температура, годовой ход которой определяет продолжительность периода культивирования ракообразных. В установке с замкнутым водоснабжением (УЗВ) зависимость от этих внешних факторов исключаются либо полностью, либо частично, в зависимости от степени рециркуляции и конструкции установки. Возможность предварительной очистки исходной воды, а также регулирования параметров и условий содержания гидробионтов в замкнутой системе позволяют считать аквакультуру в УЗВ методом производства, обеспечивающим получение более качественной продукции по сравнению с традиционными способами.

Несмотря на перспективность УЗВ с экологической точки зрения, более рентабельным остается комбинированный метод выращивания тропических объектов аквакультуры, когда в период оптимальных естественных температур для их культивирования используют пруды.

Одним из представителей тепловодной аквакультуры среди ракообразных является австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus*, характеризующийся высоким темпом роста и, как обитатель стоячих вод, более низкими требованиями к условиям среды [1]. Оптимальная температура воды для его культивирования составляет 25,0–30,0 °С. Летальными являются температуры ниже 10,0 °С и выше 36,0 °С [1–6]. Вследствие этого выращивание данного вида в России проходит преимущественно в контролируемых условиях.

Анализ справочно-аналитического материала по культивированию австралийского красноклешневого рака на территории Российской Федерации показал, что большая часть работ относится к выращиванию данного объекта в промышленных условиях [7–12]. Исследования направлены на выявление морфобиологических особенностей роста и развития объекта, а также, в виде экспериментальных работ, на определение плотностей посадки и режима кормления. В качестве отдельного направления при изучении этого вида беспозвоночных выделяются способы и технологии кормления, разработка и апробация кормовых рецептур [13–19]. Представлены данные по результатам прудового выращивания [20, 21]. Следует отметить, что основные параметры среды, определяющие технологические условия культивирования водных биологических объектов (температура воды, содержание в воде кислорода, активная реакция среды pH, концентрации аммонийного азота, нитритов и нитратов), по данному виду приводятся эпизодично или в рамках изучения определенного показателя [5, 22].

Таким образом, обобщенные данные и нормативы гидрохимических условий среды для культивирования красноклешневых раков отсутствуют.

При определении специфики выращивания АККР в Астраханской области наиболее важным представляется уточнение оптимальных сроков содержания этого объекта в прудах. Не менее значимым является выявление параметров воды, лимитирующих культивирование красноклешневых раков. Состав воды из водоемного источника, исполь-

зуемой в прудах и УЗВ, при этом является определяющим и требующим постоянного контроля.

Цель работы — определение основных гидрохимических условий выращивания австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в Астраханской области и сравнение полученных результатов с обобщенными показателями воды хозяйств по выращиванию речных раков и известными нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служила молодь австралийского красноклешневого рака начальной средней массой 1,7–7,8 г, полученная от ремонтно-маточного стада, сформированного в 2021 г. [23]. Работу осуществляли в 2020–2021 гг. на научно-экспериментальном комплексе аквакультуры «БИОС» (НЭКА «БИОС») Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»). Оптимальные сроки содержания АККР в прудах НЭКА «БИОС» в Астраханской области предварительно были определены по результатам анализа термического режима основного водоемного источника — р. Волги — и прудов в течение 3 лет (2018–2020 гг.).

Выращивание молоди проводили в установке замкнутого водоснабжения общим объемом воды 3 м³ и в открытых земляных прудах площадью 0,1 га (рис. 1). Основным водоемным источником — р. Волга.

Технические характеристики системы с установкой замкнутого водоснабжения представлены в табл. 1.

Содержание молоди проводили в УЗВ с I декады января по II декаду мая и с III декады сентября по III декаду декабря (242 суток), в прудах — с III декады мая по II декаду сентября (123 суток) 2021 г., соответственно.

Условия при культивировании АККР определялись по основным гидрохимическим показателям воды в р. Волга, прудах и УЗВ: температура [24], содержание растворенного кислорода [25], водородный показатель pH [26], содержание аммонийного азота [27], нитритов [28] и нитратов [29].

Для сравнения основных гидрохимических показателей входящей (р. Волга), прудовой и оборотной (УЗВ) воды, за технологические нормы приняты обобщенные химические показатели воды хозяйств по выращиванию речных раков и предельно допустимые концентрации (ПДК), представленные в табл. 2.



Рис. 1. Установка замкнутого водоснабжения (а) и пруд (б) для культивирования австралийского красноклешневого рака

Fig. 1. Recirculating aquaculture system (a) and a pond (b) for the cultivation of the Australian red-clawed crayfish

Таблица 1. Технические характеристики установки замкнутого водоснабжения

Table 1. Specifications of a recirculating aquaculture system

| Наименование Name | Количество Quantity | Технические характеристики Specifications | Примечание Note |
|--|---------------------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Лоток Tray | 6 шт. / pcs. | материал ПП / PP material, 2×0,75×0,25 | площадь — 1,5 м ² area — 1.5 m ² |
| Блок биологической очистки Biological treatment unit | 1 шт. / pcs. | материал ПП / PP material, 2×0,75×0,35 | с системой биофльтрации with biofiltration system |
| Насос Pump | 1 шт. / pcs. | до 40 л/мин. up to 40 L/min. | циркуляционный circulating |
| Лампа УФ UV lamp | 1 шт. / pcs. | — | для обработки воды for water treatment |
| Полупогружной биологический фильтр Semi-submerged biological filter | 0,03 м ³ / м ³ | плавающая загрузка suspended growth | для биофильтра for biofilter |
| Погружной биологический фильтр Submerged biological filter | 0,015 м ³ / м ³ | тонущая загрузка attached growth | для биофильтра for biofilter |
| Терморегулятор Temperature controller | 1 шт. / pcs. | 500 Вт / W | — |

Таблица 1 (окончание)**Table 1** (finished)

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-----------------------------------|---|--|
| Система аэрации Aeration system | 1 шт. / pcs. | – | аэратор в накопительном блоке воды УЗВ aerator in the RAS buffer tank |
| Общий объем воды Total water volume | 3 м ³ / m ³ | – | – |
| Подмена воды, в сут. Daily water replacement | 10 % | – | в системе in the system |

Таблица 2. Химические показатели воды хозяйства по выращиванию речных раков и ПДК**Table 2.** Chemical parameters of the water at the farm for the cultivation of river crayfish and MAC

| Показатели Parameters | Оптимальные значения* Optimal values* | Предельно допустимые значения (ПДЗ)* Maximum permissible values* | Нормативы качества и ПДК** Quality standards and MAC** |
|--|--|--|--|
| O ₂ , мг/л O ₂ , mg/L | 5,5–9,5 | 3,0 | не ниже 6,0 no less than 6.0 |
| pH, усл. ед. pH, units | 7–9 | от 4 до 12 from 4 to 12 | соответствие фону consistent with the background values |
| CO ₂ , мг/л CO ₂ , mg/L | отсутствуют данные no data | до 10 up to 10 | отсутствуют данные no data |
| NH ₄ ⁺ , мг/л NH ₄ ⁺ , mg/L | 0,01 | летом до 1,5; зимой до 0,5 up to 1.5 in summer; up to 0.5 in winter | 0,5 |
| NO ₂ ⁻ , мг/л NO ₂ ⁻ , mg/L | менее 0,01 less than 0.01 | 0,03 | 0,08 |
| NO ₃ ⁻ , мг/л NO ₃ ⁻ , mg/L | 0–25 | 40,0 | 40,0 |

Примечание: *Борисов и др., 2011 [30]; **«Нормативы качества...», 2016 [31]

Note: *Borisov et al., 2011 [30]; **“Quality standards...”, 2016 [31]

Для снижения хендлинг-стресса контроль биологических показателей объекта исследований осуществляли в начале и в конце этапа выращивания в УЗВ и далее в прудах. Для контрольного взвешивания и измерения осуществляли случайную выборку в количестве 30 особей с каждого лотка в УЗВ; в конце прудового выращивания были проведены измерения всех особей.

Для ежедневного кормления раков в УЗВ, учитывая их пищевые потребности (протеин, жиры, клетчатка, незаменимые жирные кислоты, минеральные добавки, аттрактанты, пигменты, витамины и аминокислоты), использовали сухой корм для молоди осетровых Aller Aqua. Дополнительно два раза в неделю к основному корму добавляли натуральные корма (науплии артемии, листья дуба).

Естественная кормовая база прудов (биомасса зоопланктона и бентоса) соответствовала видовому составу нагульных прудов VI зоны рыбоводства, эксплуатируемых в экстенсивном режиме [21]. Дополнительное кормление молоди раков в прудах не проводилось.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вода, используемая на хозяйствах для культивирования объектов аквакультуры, как правило, поступает непосредственно из расположенного рядом источника и во многом определяет дальнейшие производственные процессы и, соответственно, результаты содержания и выращивания гидробионтов. Чтобы установить оптимальные сроки содержания АККР в прудах НЭКА «БИОС» в Астраханской области, предварительно был проведен анализ термического режима основного водоисточника — р. Волги — и прудов в течение 3 лет.

Известно, что оптимальный температурный диапазон для роста и развития АККР ограничен 25–30 °С. При температуре менее 20 °С происходит значительное снижение активности, скорости роста и устойчивости особей к болезням [32], а охлаждение воды до 10 °С является для тропических раков критическим. При проведении

экспериментов по товарному выращиванию *Cherax quadricarinatus* в прудах Астраханской области, за значение температуры, при котором возможно переводить раков из УЗВ в пруд и обратно, условно была принята величина 20 °С.

Было определено, что пруды Астраханской области прогреваются быстрее, но и раньше остывают, чем природный водоток, являющийся водоисточником (р. Волга). В среднем разница температур составляла $1,0 \pm 0,2$ °С, но в период интенсивного прогрева (с апреля) или охлаждения (с конца октября) достигала 3,5–5,5 °С. Среднесуточную температуру 20 °С в прудах регистрировали в III декаде мая и при снижении температуры осенью во II декаде сентября (рис. 2).

Таким образом, продолжительность периода выращивания теплолюбивых раков в прудах региона может составить 115–125 суток. Оставшиеся 240–250 суток объекты могут содержаться в УЗВ при температуре воды 25–30 °С.

В период культивирования молоди раков (начальной средней массой 1,7–7,8 г) в УЗВ и прудах осуществляли контроль основных гидрохимических показателей, в т. ч. и воды, поступающей из водоисточника. Результаты статистической обработки значений этих показателей представлены в табл. 3.

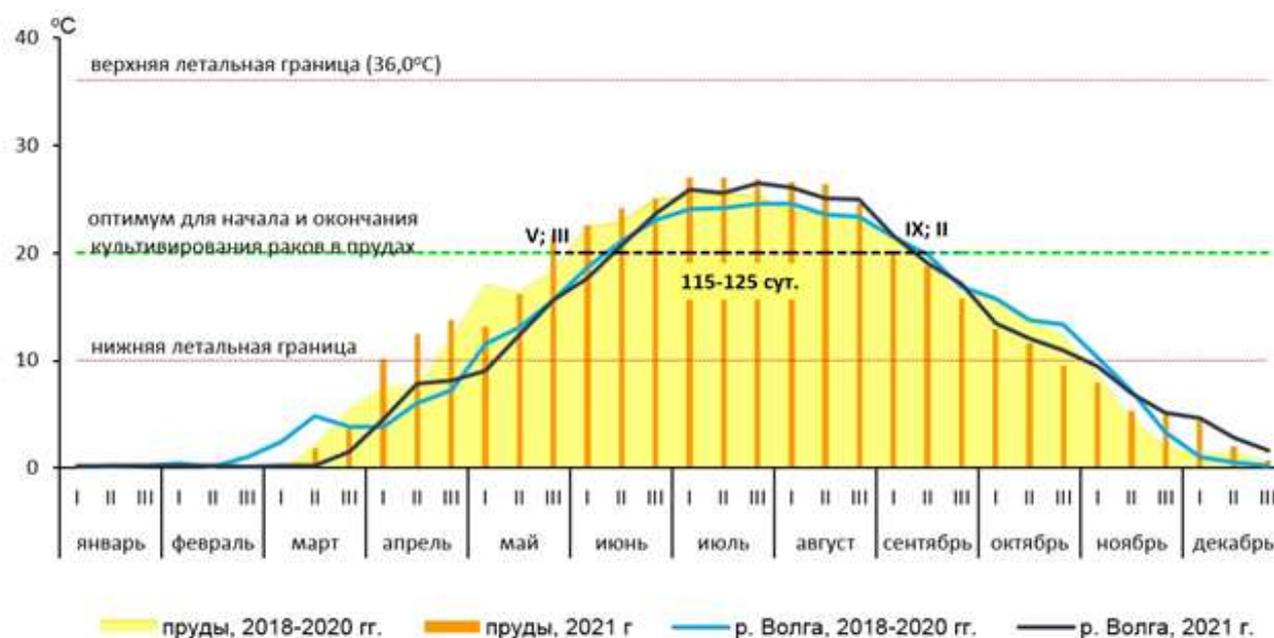


Рис. 2. Динамика среднесуточной температуры воды в р. Волге и прудах

Fig. 2. Dynamics of the average daily water temperature in the Volga River and ponds

Таблица 3. Гидрохимические показатели в р. Волга, УЗВ и прудах в период исследований**Table 3.** Hydrochemical parameters of the water in the Volga River, RAS and ponds during the investigation period

| Показатели Parameters | Среднее значение Average value | Min значение Minimum value | Max значение Maximum value |
|---|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Гидрохимические показатели в р. Волга (январь–декабрь) Hydrochemical parameters of the water in the Volga River (January–December) | | | |
| t, °C | 10,8±9,39 | 0,0 | 26,0 |
| O ₂ , мг/л O ₂ , mg/L | 11,6±2,47 | 7,5 | 16,6 |
| O ₂ , % | 100,5±5,42 | 86,0 | 121,0 |
| pH, усл. ед. pH, units | 8,1±0,25 | 7,6 | 9,3 |
| CO ₂ , мг/л CO ₂ , mg/L | 2,67±1,49 | 0,44 | 7,04 |
| NH ₄ ⁺ , мг/л NH ₄ ⁺ , mg/L | 0,11±0,05 | 0,018 | 0,31 |
| NO ₂ ⁻ , мг/л NO ₂ ⁻ , mg/L | 0,03±0,03 | 0,007 | 0,28 |
| NO ₃ ⁻ , мг/л NO ₃ ⁻ , mg/L | 1,12±0,52 | 0,30 | 2,80 |
| Гидрохимические показатели в УЗВ (январь–июнь, сентябрь–декабрь) Hydrochemical parameters of the water in the RAS (January–June, September–December) | | | |
| t, °C | 25,4±1,33 | 23,2 | 28,1 |
| O ₂ , мг/л O ₂ , mg/L | 6,79±0,75 | 5,00 | 7,80 |
| O ₂ , % | 82,3±9,12 | 63,0 | 95,0 |
| pH, усл. ед. pH, units | 8,11±0,14 | 7,80 | 8,40 |
| CO ₂ , мг/л CO ₂ , mg/L | 2,31±1,49 | 0,44 | 5,28 |
| NH ₄ ⁺ , мг/л NH ₄ ⁺ , mg/L | 0,11±0,05 | 0,02 | 0,23 |
| NO ₂ ⁻ , мг/л NO ₂ ⁻ , mg/L | 0,07±0,18 | 0,011 | 0,90 |
| NO ₃ ⁻ , мг/л NO ₃ ⁻ , mg/L | 1,26±0,80 | 0,40 | 3,10 |
| Гидрохимические показатели в прудах (июнь–сентябрь) Hydrochemical parameters of the water in the ponds (June–September) | | | |
| t, °C | 25,07±3,03 | 18,10 | 28,90 |
| O ₂ , мг/л O ₂ , mg/L | 7,64±1,36 | 2,80 | 10,50 |
| O ₂ , % | 91,77±17,08 | 34,00 | 130,00 |
| pH, усл. ед. pH, units | 8,44±0,20 | 8,10 | 9,00 |

Таблица 3 (окончание)

Table 3 (finished)

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-----------|-------|-------|
| CO ₂ , мг/л CO ₂ , mg/L | 2,94±2,52 | 0,44 | 9,68 |
| NH ₄ ⁺ , мг/л NH ₄ ⁺ , mg/L | 0,16±0,06 | 0,06 | 0,32 |
| NO ₂ ⁻ , мг/л NO ₂ ⁻ , mg/L | 0,02±0,01 | 0,001 | 0,044 |
| NO ₃ ⁻ , мг/л NO ₃ ⁻ , mg/L | 0,51±0,38 | 0,10 | 1,70 |

Температурный режим

Температура воды из водоемного источника в период исследований изменялась в пределах 0–26 °С, достигая максимума к середине лета, и не оказывала существенного влияния на технологически регулируемый температурный режим УЗВ. Среднее значение температуры воды при выращивании раков в УЗВ было оптимальным для выращивания данного тропического вида — 25,4 °С. При этом незначительные кратковременные изменения температурного режима (снижение до 23,2 °С) были обусловлены подменой воды (10–15 % от общего объема) водой из источника с более низкой температурой (13,0–16,0 °С) при чистке лотков в холодное время года.

При содержании раков в прудах в июне–сентябре температура воды была оптимальной для жизнедеятельности раков (в среднем 25,0 °С) и не выходила за верхнюю летальную границу (36,0 °С). Снижение температуры воды в прудах до 20,0 °С в осенний период определило необходимость изъятия и перевода гидробионтов в контролируемые условия УЗВ (рис. 2). Сумма накопленного тепла за весь сезон выращивания составила 2988,9 градусо-дней (24,3 °С — 123 сут.).

Кислородный режим

Содержание растворенного кислорода в воде р. Волга, используемой для культивирования красноклешневых раков в УЗВ и прудах, изменялось в пределах 7,5–16,6 мг/л, в среднем составляя 11,6 мг/л, при 100 %-ом насыщении. Однако при работе УЗВ в поступающей воде часто предпочтительнее иметь насыщенность кислородом, превышающую 100 %, чтобы количество доступного кислорода было достаточным для высокого и стабильного темпа роста гидробионтов [33]. Это

обусловлено тем, что значительная часть растворенного кислорода расходуется на работу биофильтра и дыхание гидробионтов, поэтому отмечено закономерное снижение его концентрации на 30–40 % относительно исходного уровня. В исследуемый период значения этого показателя в оборотной воде УЗВ варьировали от 5,0 до 7,8 мг/л (насыщение 63–95 %). Среднее значение за весь период культивирования раков в УЗВ составляло 6,79 мг/л, при относительном содержании 82,3 %. Учитывая степень насыщения исходной воды кислородом (в среднем 100 %), для поддержания оптимального кислородного режима, а также для предотвращения рисков снижения кислорода до уровня менее 5,5 мг/л в системе УЗВ (табл. 2) использовали дополнительную аэрацию.

При прудовом выращивании раков кислородный режим водоемов был преимущественно удовлетворительным для их жизнедеятельности (7,64 мг/л, при насыщении 91,7 %). Кратковременное снижение кислорода до уровня менее 3,0 мг/л (2,8 мг/л; 34 %) отмечали в летний период на фоне высоких температур и максимального развития биоты прудов. При этом гибели культивируемых гидробионтов зарегистрировано не было.

Уровень рН

Значения рН входящей воды, воды УЗВ и прудов за весь период исследований были оптимальными для культивирования красноклешневых раков, составляя 7–9 усл. ед.

Контроль за данным показателем особенно важен в УЗВ, вследствие ограниченного объема воды, высоких плотностей посадки и риска быстрого изменения концентраций гидрохимических показателей. Так, при низком рН усиливается отрицательное воздействие нитритов, а

при высоком — возрастает содержание токсичного для гидробионтов свободного аммиака. Контроль рН позволяет быстро и без сложных химических анализов осуществлять мониторинг основных стадий азотного цикла и, соответственно, в дальнейшем контролировать их.

Углекислота

Согласно данным по содержанию в воде углекислоты допустимо кратковременное повышение значения данного показателя до 10 мг/л. Содержание CO_2 в воде р. Волга составило 2,67 мг/л, в используемой для культивирования красноклещевых раков в системе УЗВ — 2,31 мг/л.

Максимальное значение 9,68 мг/л кратковременно отмечалось в прудовой воде. В УЗВ и в водоемисточнике этот показатель не превышал значений 5,28 и 7,04 мг/л, соответственно.

Соединения азота

Не менее важен контроль за содержанием во входящей воде, в оборотной воде УЗВ и воде при эксплуатации прудов азотных соединений — аммонийного азота, нитритов и нитратов.

В водной среде ионы аммония находятся в подвижном равновесии, зависящем от рН и температуры среды. Ионы аммония в концентрациях до 10 мг/л не оказывают заметного влияния на гидробионтов. Токсичным является свободный аммиак. Желательно, чтобы его концентрация не превышала 0,05 мг/л [33].

Проведенный анализ входящей воды из водоемисточника, оборотной воды УЗВ и воды эксплуатируемых прудов показал превышение оптималь-

ного для речных раков значения аммонийного азота (0,01 мг/л) в 10, 10 и 16 раз, соответственно (рис. 3). При этом даже максимальные значения данного показателя в исследуемой воде оставались ниже как предельно допустимого значения, предлагаемого для выращивания речных раков (в зимний период 0,5 мг/л, в летний — 1,5 мг/л), так и ПДК для рыбохозяйственных водных объектов [30, 31].

Нитриты являются промежуточным продуктом неполного окисления аммиака. Обычно повышенное их содержание наблюдается на стадии зарядки биофильтра в УЗВ, а также при перегрузках (повышенных плотностях посадки). Объекты аквакультуры, в зависимости от вида, иногда выдерживают концентрацию нитритов до 1–2 мг/л, но непродолжительное время; при этом темп их роста резко снижается. Действие нитритов усиливается при низких значениях рН [33].

При условно принятом за оптимальное значение нитритов — 0,01 мг/л — их концентрации во входящей воде из водоемисточника были на уровне предельно допустимой для раков — 0,03 мг/л. Наибольшее содержание нитритного азота, превышающее как условную норму (в 7 раз), так и предельно допустимое значение для речных раков (в 2,5 раза), отмечено в оборотной воде УЗВ. Самые низкие, но превышающие (в 2 раза) оптимальное значение для культивирования ракообразных, концентрации нитритов были отмечены в прудовой воде. Во всех случаях (р. Волга, УЗВ, пруды) среднее содержание нитритного азота в воде не выходило за

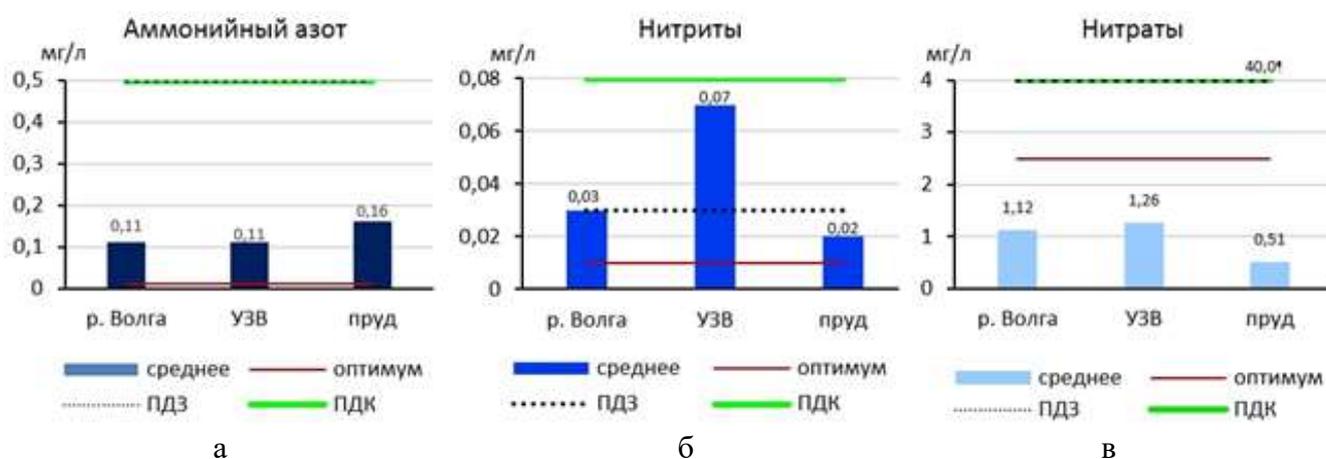


Рис. 3. Содержание аммонийного (а), нитритного (б) и нитратного (в) азота в воде при культивировании АККР
Fig. 3. Content of ammonium (a), nitrite (б), and nitrate (в) nitrogen in the water during the cultivation of the Australian red-clawed crayfish

границу ПДК для рыбохозяйственных водных объектов (рис. 3).

Нитраты заметного отрицательного влияния на гидробионтов не оказывают, но при высокой концентрации (более 170 мг/л) могут быть причиной нежелательного уменьшения рН, вследствие чего будут тормозиться процессы нитрификации [33]. В период исследования подобных случаев зарегистрировано не было.

Самые низкие значения нитратов отмечены в прудовой воде — 0,5 мг/л. В исходной и оборотной воде УЗВ содержание нитратного азота было близко по значениям — 1,12 мг/л и 1,26 мг/л, соответственно. При этом данный показатель не выходил за границы оптимального значения, рекомендованного при выращивании раков (0–25 мг/л).

Следует отметить, что в период культивирования АККР как в УЗВ, так и в прудах гибели гидробионтов при данных гидрохимических показателях не наблюдали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа литературных данных и данных, полученных при культивировании красноклешневых раков *Cherax quadricarinatus*, установлено, что температура воды 20 °С действительно является оптимальной для начала и окончания выращивания тропических раков в условиях естественных температур. Исследования динамики температурного режима водоемочника и прудов в годовом аспекте позволили определить оптимальный период для прудовой аквакультуры красноклешневых раков *Cherax quadricarinatus* (с III декады мая по II декаду сентября), составляющий 115–125 суток. Остальное время (240–250 суток) объекты должны содержаться в регулируемых температурных условиях — например, в УЗВ.

Сравнение значений основных гидрохимических показателей входящей воды из водоемочника (р. Волга), воды эксплуатируемых прудов и оборотной воды УЗВ при культивировании австралийского красноклешневого рака — тропического объекта аквакультуры — с оптимальными значениями, рекомендованными для хозяйства по выращиванию речных раков, и с ПДК, показало, что:

- средние значения растворенного в воде кислорода и рН входящей воды из водоемочника, оборотной воды в УЗВ и воды эксплуатируемых прудов за весь период исследований

находились в интервале оптимальных значений, рекомендованных для хозяйств по выращиванию речных раков;

- средние концентрации CO_2 входящей воды из водоемочника, оборотной воды в УЗВ и воды эксплуатируемых прудов находились в пределах значений, допустимых при культивировании речных раков;
- среднее содержание аммонийного азота и нитритов входящей воды из водоемочника, оборотной воды в УЗВ и воды эксплуатируемых прудов было выше оптимальных рекомендованных значений и преимущественно ниже предельно допустимых для раков;
- высокие концентрации аммонийного и нитритного азота в воде УЗВ и прудов определялись повышенным содержанием этих соединений в природной воде;
- при повышенных относительно нормативов для речных раков значениях нитритов увеличения элиминации выращиваемых ракообразных не регистрировали;
- необходимы дополнительные исследования по определению влияния нитритного азота на красноклешневых раков;
- концентрации нитратов не превышали оптимальное значение, рекомендованное при выращивании раков;
- нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в т. ч. ПДК вредных веществ, либо являются менее строгими по сравнению с технологическими нормами, разработанными для выращивания речных раков, либо близки по значениям к таковым.

В целом, для успешного ведения аквакультуры австралийского красноклешневого рака в Астраханской области целесообразно использовать комбинированное выращивание данного объекта (в контролируемых условиях и прудах). Лимитирующим фактором на этапе прудового выращивания выступает температура воды, ограничивающая сроки культивирования тропических раков в условиях естественных температур. При выращивании объекта в прудах и, в еще большей степени, в установке замкнутого водоснабжения для своевременной корректировки параметров среды, способных потенциально ограничивать культивирование красноклешневых раков, следует

проводить их регулярный контроль. Наибольшее внимание необходимо уделять нитритной форме азота. При этом, учитывая, что красноклешневые раки более неприхотливы, чем речные ракообразные, можно предположить, что требования к их содержанию по ряду параметров среды могут быть не столь строгими. Результаты исследований показали необходимость дополнительного изучения влияния нитритного азота на основные физиологические и размерно-массовые характеристики красноклешневых раков и определения способов корректировки концентраций нитритов при содержании АККР в УЗВ и прудах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность главному специалисту научно-экспериментального центра аквакультуры НЭКА «БИОС» Г.Ш. Сакетовой за осуществление контроля за гидрохимическими показателями воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Chen X., Wu Z., Hu L. Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus* // Journal Huazhong (Central China) Agricultural University. 1995. Vol. 14, no. 5. Pp. 477–480.
- Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Watts S.A. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // Journal of the World Aquaculture Society. 2002. Vol. 33, no. 2. Pp. 188–198. doi: 10.1111/j.1749-7345.2002.tb00494.x.
- Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Акимова М.Ю., Паршин-Чудин А.В. Биология и культивирование австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868). М.: Изд-во ВНИРО, 2013. 48 с.
- Арыстангалиева В.А. Разработка технологии выращивания посадочного материала австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в установке с замкнутым водоиспользованием : автореф. дис. канд. с.-х. наук. М.: Изд-во Российского государственного аграрного университета — Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева, 2017. 24 с.
- Жигин А.В., Арыстангалиева В.А., Ковачева Н.П. Влияние температуры воды на рост и выживаемость австралийских красноклешневых раков // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование : матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию рыбохозяйственного образования на Камчатке (г. Петропавловск-Камчатский, 12–14 апреля 2017 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского государственного технического университета, 2017. Т. 1. С. 86–89.
- Шокашева Д.И. Рост молоди австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в промышленных условиях в зависимости от температуры среды // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2018. № 2. С. 98–103. doi: 10.24143/2073-5529-2018-2-98-103.
- Томокала Б.П., Крючков В.Н. Определение оптимальной плотности содержания молоди австралийского рака в УЗВ // Матер. 65-ой Междунар. науч. конф. Астраханского государственного технического университета (г. Астрахань, 26–30 апреля 2021 г.). Астрахань: Изд-во Астраханского государственного технического университета, 2021. С. 294–296.
- Асанова А.В. Морфобиологические особенности австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при выращивании в УЗВ // Проблемы биологии, зоотехнии и биотехнологии : матер. науч.-практ. конф. научного общества студентов и аспирантов биолого-технологического факультета Новосибирского государственного аграрного университета (г. Новосибирск, 9–14 декабря 2019 г.). Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного аграрного университета, Золотой колос, 2020. С. 48–51.
- Климова А.М. Гидрохимический режим в установках замкнутого водоснабжения // Проблемы биологии, зоотехнии и биотехнологии : матер. науч.-практ. конф. научного общества студентов и аспирантов биолого-технологического факультета Новосибирского государственного аграрного университета (г. Новосибирск, 9–14 декабря 2019 г.). Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного аграрного университета, Золотой колос, 2020. С. 52–60.
- Асанова А.В., Севастеев С.В. Подращивание молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в УЗВ // Современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике : матер. Всерос. студенческой науч.-практ. конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума — 2020» (г. Якутск, 29–30 сентября 2020 г.) и Междунар. науч. онлайн летней школы — 2020 (г. Якутск, 6–20 июля 2020 г.). Ставрополь: Изд-во Ставропольского государственного аграрного университета, АГРУС, 2020. С. 54–61.
- Севастеев С.В., Асанова А.В., Литош Т.А. Динамика основных морфобиологических параметров у австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при выращивании в УЗВ // Теория и практика современной аграрной науки : матер. III нац. (всерос.) науч. конф. с междунар. участием (г. Новосибирск, 28 февраля 2020 г.). Новосибирск: Изд-во Новосибирского

- государственного аграрного университета, 2020. Т. 2. С. 705–709.
12. Новоселов А.А. Биологические особенности разведения красноклешневого австралийского рака (*Cherax quadricarinatus*) в установке замкнутой водоподдачи // Дни науки : матер. межвузовской науч.-тех. конф. студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (г. Калининград, 8–21 апреля 2019 г.). Калининград: Изд-во Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота, 2019. С. 123–126.
 13. Лецишина Д.О., Богдасhev И.А., Коновалов А.С. Оценка технологии кормления товарного поголовья австралийского рака в УЗВ в условиях Центра РЦПО Волгоградского ГАУ // Матер. XXV регион. конф. молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 24–26 ноября 2021 г.). Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного аграрного университета, 2021. С. 141–142.
 14. Лецишина Д.О., Богдасhev И.А. Особенности кормления маточного поголовья австралийского рака в УЗВ в условиях центра «Разведения ценных пород осетровых» // Наука и молодежь: новые идеи и решения : матер. XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей (г. Волгоград, 24–26 марта 2021 г.). Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного аграрного университета, 2021. Т. 3. С. 321–323.
 15. Антонов А.М., Пастухова Н.О., Киселева Н.А. Способ кормления молоди австралийского красноклешневого рака кормами на основе протеина насекомых // Естественные и технические науки. 2021. № 12 (163). С. 197–203.
 16. Анкешева Б.М., Бедрицкая И.Н., Пятикопова О.В. Апробация экспериментального корма для молоди австралийского красноклешневого рака // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 1 (180). С. 70–79. doi: 10.33920/sel-09-2101-06.
 17. Гобелков П.В. Темп роста самцов австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в условиях индустриальной аквакультуры при использовании кормов различного состава // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Керчь, 27–30 мая 2020 г.). Симферополь: Ариал, 2020. С. 283–287.
 18. Петрухина Л.С. Эффективность использования комбикормов отечественного производства для австралийского красноклешневого рака в УЗВ в условиях ПНИЛ «Разведение ценных пород осетровых» // Разработки и инновации молодых исследователей : матер. XII Всерос. науч.-практ. конф. молодых исследователей (г. Волгоград, 13–14 ноября 2018 г.). Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного аграрного университета, 2019. С. 135–137.
 19. Харламова А.О. Технология содержания и кормления взрослых особей австралийского красноклешневого рака в условиях ПНИЛ «Разведение ценных пород осетровых» ВОЛГАУ // Наука и молодежь: новые идеи и решения : матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей (г. Волгоград, 20–22 марта 2019 г.). Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного университета, 2019. Т. 2. С. 258–260.
 20. Шокашева Д.И. Прудовое выращивание австралийского красноклешневого рака в условиях Астраханской области // Вестник рыбохозяйственной науки. 2017. Т. 4, № 4 (16). С. 14–18.
 21. Лагуткина Л.Ю., Кузьмина Е.Г., Бирюкова М.Г., Першина Е.В. Биопродуктивность прудов VI рыбозводной зоны // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 87–94. doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-87-94.
 22. Жигин А.В., Арыстангадиева В.А., Тырин Д.В., Ковачева Н.П. Определение оптимальной температуры и потребления кислорода при подращивании молоди австралийского красноклешневого рака // Природообустройство. 2017. № 3. С. 121–128.
 23. Анкешева Б.М., Тангатарова Р.Р., Пятикопова О.В. Формирование ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в индустриальной аквакультуре // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. 2021. Т. 201, вып. 4. С. 948–959. doi: 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959.
 24. РД 52.24.496-2018 Методика измерений температуры, прозрачности и определения запаха воды / Сост. Ю.А. Андреев, А.А. Назарова, И.А. Рязанцева. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2018. 14 с.
 25. РД 52.24.419-2019 Массовая концентрация растворенного кислорода в водах. Методика выполнения измерений йодометрическим методом / Сост. Ю.А. Андреева, Е.С. Килейнова, А.А. Назарова. Ростов-н/Д.: Изд-во Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2004. 34 с.
 26. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциметрическим методом. М.: Изд-во Федерального научно-методического центра анализа и мониторинга окружающей среды Министерства природных ресурсов России, 2016. 18 с.
 27. ПНД Ф 14.1:2:3.1-95 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных

- водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. М.: Изд-во Федерального центра анализа и оценки техногенного воздействия, 2017. 24 с.
28. РД 52.24.381-2017 Массовая концентрация нитритного азота в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса / Сост. Ю.А. Андреев, Е.С. Килейнова. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2017. 25 с.
 29. РД 52.24.380-2017 Массовая концентрация нитратного азота в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редукторе / Сост. Ю.А. Андреев, Е.С. Килейнова. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2017. 34 с.
 30. Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Чертопруд Е.С. Биология, воспроизводство и культивирование речных раков. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 96 с.
 31. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения 19.05.2022).
 32. King C.R. Egg development time and storage for redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* Von Martens // *Aquaculture*. 1993. Vol. 109, issue 3–4. Pp. 275–280. doi: 10.1016/0044-8486(93)90169-y.
 33. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы. Копенгаген: Изд-во Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций, 2010. 70 с.
- ## REFERENCES
1. Chen X., Wu Z., Hu L. Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus*. *Journal Huazhong (Central China) Agricultural University*, 1995, vol. 14, no. 5, pp. 477–480.
 2. Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Watts S.A. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2002, vol. 33, no. 2, pp. 188–198. doi: 10.1111/j.1749-7345.2002.tb00494.x.
 3. Borisov R.R., Kovacheva N.P., Akimova M.Yu., Parshin-Chudin A.V. *Biologiya i kul'tivirovanie avstraliyskogo krasnokleshneвого raka Cherax quadricarinatus (Von Martens, 1868) [Biology and cultivation of Australian red claw crayfish Cherax quadricarinatus (Von Martens, 1868)]*. Moscow: VNIRO Publ., 2013, 48 p. (In Russian).
 4. Arystangalieva V.A. *Razrabotka tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (Cherax quadricarinatus) v ustanovke s zamknutym vodoispol'zovaniem : avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk [Development of the cultivation technology for the stocking material of the Australian redclaw crayfish (Cherax quadricarinatus) in a recirculating aquaculture system. Extented abstract of Candidate's (Agriculture) Thesis]*. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet — Moskovskaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya im. K.A. Timiryazeva [Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy] Publ., 2017, 24 p. (In Russian).
 5. Zhigin A.V., Arystangalieva V.A., Kovacheva N.P. *Vliyaniye temperatury vody na rost i vyzhivaemost' avstraliyskikh krasnokleshnevyykh rakov [Influence of water temperature on growth and survival of Australian red claw crayfish]*. In: *Prirodnye resursy, ikh sovremennoye sostoyaniye, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoye ispol'zovaniye : materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu rybokhozyaystvennogo obrazovaniya na Kamchatke (g. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 12–14 aprelya 2017 g.) [Natural resources, their current state, conservation, commercial and industrial use. Proceedings of the 8th All-Russian Research and Practice Conference with international participation, dedicated to the 75th anniversary of fisheries education in Kamchatka (Petropavlovsk-Kamchatskiy, 12–14 April, 2017)]*. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet [Kamchatka State Technical University] Publ., 2017, vol. 1, pp. 86–89. (In Russian).
 6. Shokasheva D.I. *Rost molodi avstraliyskogo raka Cherax quadricarinatus v industrial'nykh usloviyakh v zavisimosti ot temperatury sredy [Growth of Australian crayfish (Cherax quadricarinatus) juveniles in industrial conditions depending on the environment temperature]*. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry]*, 2018, no. 2, pp. 98–103. doi: 10.24143/2073-5529-2018-2-98-103. (In Russian).
 7. Tomokala B.P., Kryuchkov V.N. *Opreделение optimal'noy plotnosti sodержaniya molodi avstraliyskogo raka v UZV [Determination of the optimal stocking density for the Australian redclaw crayfish juveniles in a recirculating aquaculture system]*. In: *Materialy 65-oy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (g. Astrakhan', 26–30 aprelya 2021 g.) [Proceedings of the 65th International Scientific Conference of the Astrakhan State Technical University (Astrakhan, 26–30 April, 2021)]*. Astrakhan: Astrakhanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet [Astrakhan State Technical University] Publ., 2021, pp. 294–296. (In Russian).

8. Asanova A.V. Morfobiologicheskie osobennosti avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (*Cherax quadricarinatus*) pri vyrashchivanii v UZV [Morphobiological features of the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in the context of its cultivation in a recirculating aquaculture system]. In: *Problemy biologii, zootehnii i biotekhnologii : materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii nauchnogo obshchestva studentov i aspirantov biologo-tekhnologicheskogo fakul'teta Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (g. Novosibirsk, 9–14 dekabrya 2019 g.)* [Problems of biology, zootechnics, and biotechnology. Proceedings of the Research and Practice Conference of Scientific Society of the students and graduates of the Biological and Technological Department of the Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, 9–14 December, 2019)]. Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Novosibirsk State Agrarian University] Publ., Zolotoy kolos [Golden Spike], 2020, pp. 48–51. (In Russian).
9. Klimova A.M. Gidrokhimicheskiiy rezhim v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya [Hydrochemical regime in recirculating aquaculture systems]. In: *Problemy biologii, zootehnii i biotekhnologii : materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii nauchnogo obshchestva studentov i aspirantov biologo-tekhnologicheskogo fakul'teta Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (g. Novosibirsk, 9–14 dekabrya 2019 g.)* [Problems of biology, zootechnics, and biotechnology. Proceedings of the Research and Practice Conference of Scientific Society of the students and graduates of the Biological and Technological Department of the Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, 9–14 December, 2019)]. Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Novosibirsk State Agrarian University] Publ., Zolotoy kolos [Golden Spike], 2020, pp. 52–60. (In Russian).
10. Asanova A.V., Sevasteev S.V. Podrashchivanie molodi avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (*Cherax quadricarinatus*) v UZV [Rearing of the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juveniles in recirculating aquaculture systems]. In: *Sovremennye problemy i dostizheniya agrarnoy nauki v Arktike : materialy Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkakh "Severnogo foruma — 2020" (g. Yakutsk, 29–30 sentyabrya 2020 g.) i Mezhdunarodnoy nauchnoy onlayn letney shkoly — 2020 (g. Yakutsk, 6–20 iyulya 2020 g.)* [Current problems and achievements of the agrarian science in the Arctic. Proceedings of the All-Russian Student Research and Practice Conference with international participation held as a part of "Northern Forum — 2020" (Yakutsk, 29–30 September, 2020) and International Science Summer Online-School — 2020 (Yakutsk, 6–20 July, 2020)]. Stavropol: Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Stavropol State Agrarian University] Publ., AGRUS, 2020, pp. 54–61. (In Russian).
11. Sevasteev S.V., Asanova A.V., Litosh T.A. Dinamika osnovnykh morfobiologicheskikh parametrov u avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (*Cherax quadricarinatus*) pri vyrashchivanii v UZV [Dynamics of the main morphobiological characteristics in the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in the context of its cultivation in a recirculating aquaculture system]. In: *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki : materialy III natsional'noy (vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Novosibirsk, 28 fevralya 2020 g.)* [Theory and practice of modern agricultural science. Proceedings of the 3rd National (All-Russian) Scientific Conference with international participation (Novosibirsk, 28 February, 2020)]. Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Novosibirsk State Agrarian University] Publ., 2020, vol. 2, pp. 705–709. (In Russian).
12. Novoselov A.A. Biologicheskie osobennosti razvedeniya krasnokleshneвого avstraliyskogo raka (*Cherax quadricarinatus*) v ustanovke zamknutoy vodopodachi [Biological features of the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) cultivation in a recirculating aquaculture system]. In: *Dni nauki : materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i kursantov na baze FGBOU VO "Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet" (g. Kaliningrad, 8–21 aprelya 2019 g.)* [Days of science. Proceedings of the Inter-University Research and Technology Conference for students and cadets under the auspices of the FSBEI HE "Kaliningrad State Technical University" (Kaliningrad, 8–21 April, 2019)]. Kaliningrad: Baltiyskaya gosudarstvennaya akademiya rybopromyslovogo flota [Baltic Fishing Fleet State Academy] Publ., 2019, pp. 123–126. (In Russian).
13. Leshchishina D.O., Bogdashev I.A., Konovalov A.S. Otsenka tekhnologii kormleniya tovarnogo pogolov'ya avstraliyskogo raka v UZV v usloviyakh tsentra RTsPO Volgogradskogo GAU [Assessment of the feeding practice for the marketable generation of the Australian redclaw crayfish in the recirculating aquaculture systems in the Center for Cultivation of Valuable Sturgeon Species at the Volgograd State Agrarian University]. In: *Materialy XXV regional'noy konferentsii molodykh issledovateley Volgogradskoy oblasti (g. Volgograd, 24–26 noyabrya 2021 g.)* [Proceedings of the 25th Regional Conference of the Young Researchers in the Volgograd Region (Volgograd, 24–26 November, 2021)]. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Volgograd State Agrarian University] Publ., 2021, pp. 141–142. (In Russian).
14. Leshchishina D.O., Bogdashev I.A. Osobennosti kormleniya matochnogo pogolov'ya avstraliyskogo raka v UZV v usloviyakh tsentra "Razvedeniya

- tsennykh porod osetrovykh” [Specifics of feedings of the Australian redclaw crayfish broodstock in the recirculating aquaculture systems at the Center for Cultivation of Valuable Sturgeon Species]. In: *Nauka i molodezh': novye idei i resheniya : materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh issledovateley (g. Volgograd, 24–26 marta 2021 g.)* [Science and youth: new ideas and solutions. Proceedings of the 15th International Research and Practice Conference of the young researchers (Volgograd, 24–26 March, 2021)]. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Volgograd State Agrarian University] Publ., 2021, vol. 3, pp. 321–323. (In Russian).
15. Antonov A.M., Pastukhova N.O., Kiseleva N.A. Sposob kormleniya molodi avstraliyskogo krasnokleshneвого raka kormami na osnove proteina nasekomykh [Method for feeding young Australian red-claw crayfish with foods based on insect protein]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2021, no. 12 (163), pp. 197–203. (In Russian).
 16. Ankesheva B.M., Bedritskaya I.N., Pyatikopova O.V. Aprobatsiya eksperimental'nogo korma dlya molodi avstraliyskogo krasnokleshneвого raka [Testing of experimental feed for young Australian red-clawed crayfish that meets its nutritional needs]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo* [Fish Breeding and Fisheries], 2021, no. 1 (180), pp. 70–79. doi: 10.33920/sel-09-2101-06. (In Russian).
 17. Gobelkov P.V. Temp rosta samtsov avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (*Cherax quadricarinatus*) v usloviyakh industrial'noy akvakul'tury pri ispol'zovanii kormov razlichnogo sostava [Growth rate of the males of the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) when using the feeds of various composition]. In: *Biologicheskoe raznoobrazie: izuchenie, sokhranenie, vosstanovlenie, ratsional'noe ispol'zovanie : materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Kerch', 27–30 maya 2020 g.)* [Biological diversity: study, conservation, restoration, and rational exploitation. Proceedings of the 2nd International Research and Practice Conference (Kerch, 27–30 May, 2020)]. Simferopol: Arial, 2020, pp. 283–287. (In Russian).
 18. Petrukhina L.S. Effektivnost' ispol'zovaniya kombikormov otechestvennogo proizvodstva dlya avstraliyskogo krasnokleshneвого raka v UZV v usloviyakh PNIL “Razvedenie tsennykh porod osetrovykh” [Efficient utilization of the mixed feed of Russian origin for the Australian redclaw crayfish in the recirculating aquaculture systems at the Problem-Solving Research Laboratory “Cultivation of the Valuable Sturgeon Species”]. In: *Razrabotki i innovatsii molodykh issledovateley : materialy XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh issledovateley (g. Volgograd, 13–14 noyabrya 2018 g.)* [Inventions and innovations of the young researchers. Proceedings of the 12th All-Russian Research and Practice Conference of the young researchers (Volgograd, 13–14 November, 2018)]. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Volgograd State Agrarian University] Publ., 2019, pp. 135–137. (In Russian).
 19. Kharlamova A.O. Tekhnologiya sodержaniya i kormleniya vzroslykh osobey avstraliyskogo krasnokleshneвого raka v usloviyakh PNIL “Razvedenie tsennykh porod osetrovykh” VOLGAU [Practice of housing and feedings of the mature individuals of the Australian redclaw crayfish in the Problem-Solving Research Laboratory “Cultivation of the Valuable Sturgeon Species” at the Volgograd State Agrarian University]. In: *Nauka i molodezh': novye idei i resheniya : materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh issledovateley (g. Volgograd, 20–22 marta 2019 g.)* [Inventions and innovations of the young researchers. Proceedings of the 13th All-Russian Research and Practice Conference of the young researchers (Volgograd, 20–22 March, 2019)]. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Volgograd State Agrarian University] Publ., 2019, vol. 2, pp. 258–260. (In Russian).
 20. Shokasheva D.I. Prudovoe vyrashchivanie avstraliyskogo krasnokleshneвого raka v usloviyakh Astrakhanskoy oblasti [Breeding of Australian red claw crayfish in ponds of Astrakhan Region]. *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki* [The Bulletin of Fisheries Science], 2017, vol. 4, no. 4 (16), pp. 14–18. (In Russian).
 21. Lagutkina L.Yu., Kuzmina E.G., Biryukova M.G., Pershina E.V. Bioproduktivnost' prудov VI rybovodnoy zony [Bioproductivity of ponds of VI fish breeding zone]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo* [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry], 2019, no. 4, pp. 87–94. doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-87-94. (In Russian).
 22. Zhigin A.V., Arystangalieva V.A., Tyrin D.V., Kovacheva N.P. Opredelenie optimal'noy temperatury i potrebleniya kisloroda pri podrashchivanii molodi avstraliyskogo krasnokleshneвого raka [Determination of the optimal temperature and consumption of oxygen in rearing young Australian red clawed crayfish]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], 2017, no. 3, pp. 121–128. (In Russian).
 23. Ankesheva B.M., Tangatarova R.R., Pyatikopova O.V. Formirovanie remontno-matochnogo stada avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (*Cherax quadricarinatus*) v industrial'noy akvakul'ture [Growing of replacement broodstock for Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial aquaculture]. *Izvestiya Tikhookeanskogo*

- nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaystvennogo tsentra [Bulletin of the Pacific Scientific Research Fisheries Center]*, 2021, vol. 201, issue 4, pp. 948–959. doi: 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959. (In Russian).
24. RD 52.24.496-2018 Metodika izmereniy temperatury, prozrachnosti i opredeleniya zapakha vody [Regulatory Document 52.24.496-2018 Methodology of performing measurements of water temperature, transparency and odor]. Yu.A. Andreev, A.A. Nazarova, I.A. Ryazantseva (Eds.). Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2018, 14 p. (In Russian).
25. RD 52.24.419-2019 Massovaya kontsentratsiya rastvorennoogo kisloroda v vodakh. Metodika vypolneniya izmereniy yodometricheskim metodom [Regulatory Document 52.24.419-2019 Mass concentration of dissolved oxygen in water. Method of performing measurements using the iodometric method]. Yu.A. Andreev, E.S. Kileynova, A.A. Nazarova (Eds.). Rostov-on-Don: Federal'naya sluzhba Rossii po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., 2004, 34 p. (In Russian).
26. PND F 14.1:2:3:4.121-97 Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy pH v vodakh potentsiometricheskim metodom [Federal Environmental Regulation 14.1:2:3:4.121-97 Quantitative chemical analysis of water. Methods for pH measurement in waters by potentiometric method]. Moscow: Federal'nyy nauchno-metodicheskiy tsentr analiza i monitoringa okruzhayushchey sredy Ministerstva prirodnykh resursov Rossii [Federal Scientific and Methodological Center for Environmental Analysis and Monitoring of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation] Publ., 2016, 18 p. (In Russian).
27. PND F 14.1:2:3:1-95 Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii ionov ammoniya v prirodnykh i stochnykh vodakh fotometricheskim metodom s reaktivom Nesslerera [Federal Environmental Regulation 14.1:2:3:1-95 Quantitative chemical analysis of water. Method for measuring the mass concentration of ammonium ions in natural and wastewaters by the photometric method with Nessler's reagent]. Moscow: Federal'nyy tsentr analiza i otsenki tekhnogennogo vozdeystviya [Federal Centre of Analysis and Assessment of Technogenic Impact] Publ., 2017, 24 p. (In Russian).
28. RD 52.24.381-2017 Massovaya kontsentratsiya nitratnogo azota v vodakh. Metodika vypolneniya izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa [Regulatory Document 52.24.381-2017 Mass concentration of nitrite nitrogen in water. Measurement procedure by photometric method with Griess reagent]. Yu.A. Andreev, E.S. Kileynova (Eds.). Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2017, 25 p. (In Russian).
29. RD 52.24.380-2017 Massovaya kontsentratsiya nitratnogo azota v vodakh. Metodika vypolneniya izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa posle vosstanovleniya v kadmievom reduktore [Regulatory Document 52.24.381-2017 Mass concentration of nitrate nitrogen in waters. Measurement technique by photometric method with Griess reagent after reduction in cadmium reducer]. Yu.A. Andreev, E.S. Kileynova (Eds.). Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2017, 34 p. (In Russian).
30. Borisov R.R., Kovacheva N.P., Chertoprud E.S. Biologiya, vosproizvodstvo i kul'tivirovanie rechnykh rakov [Biology, reproduction and cultivation of crayfish]. Moscow: VNIRO Publ., 2011, 96 p. (In Russian).
31. Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 13 dekabrya 2016 g. N 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya" [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated December 13, 2016 No. 552 "On approval of water quality standards for water bodies used for fishery, including standards on maximal allowable concentrations of hazardous substances in water of water bodies used for fishery"]. Available at: <https://base.garant.ru/71586774/> (accessed 19.05.2022). (In Russian).
32. King C.R. Egg development time and storage for redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* Von Martens. *Aquaculture*, 1993, vol. 109, issue 3–4, pp. 275–280. doi: 10.1016/0044-8486(93)90169-y.
33. Bregnballe J. A guide to recirculation aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Copenhagen: Food and Agriculture Organization of the United Nations Publ., EUROFISH International Organisation Publ., 2015, 95 p.

Поступила 18.03.2022

Принята к печати 20.06.2022