

ТОВАРНАЯ АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ГИДРОБИОНТОВ

DOI: 10.24143/2073-5529-2021-2-76-89
УДК 574.5

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИРКУЛЯРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АКВАКУЛЬТУРЕ

М. Л. Калайда¹, М. Ф. Хамитова¹, А. А. Калайда², С. Д. Борисова¹, В. В. Бабинова¹

¹*Казанский государственный энергетический университет,
Республика Татарстан, Казань, Российская Федерация*

²*ООО «БИОСФЕРА-ФИШ»,
Республика Татарстан, Казань, Российская Федерация*

Рассмотрены примеры биотехнологических приемов производства рыбной продукции на основе циркулярных биотехнологий с вовлечением в процесс отходов различных производств (теплые воды водоемов-охладителей, установки с замкнутым циклом водоснабжения, аквапонические установки). Отмечается, что эффективность садкового рыбоводства на отработанных теплых водах объектов энергетики снижается вследствие эвтрофикации, возникающей в результате увеличения плотностей посадки рыбы и из-за особенностей температурного и гидрохимического режимов. Указанные условия требуют подбора новых объектов аквакультуры – с быстрым темпом роста, теплолюбивых и не требовательных к содержанию кислорода в воде. Перспективным объектом выращивания на теплых водах является африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*). Рассмотрены возможности садкового выращивания и других представителей сомообразных – шильбовых сомов (*Pangasius*). Показано, что инновационные биотехнологии позволяют выращивать в установках с замкнутым циклом водоснабжения ценные объекты, выступающие в качестве элитной деликатесной продукции, например австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus*. Приведены результаты экспериментального выращивания пряных овощных культур (базилика овощного, салата) в аквапонической установке – на отходах жизнедеятельности карасей и клариевых сомов. Утверждается, что рыбоводная система с элементами циркулярных технологий становится подобна по структуре природной экосистеме. Применение циркулярных технологий в рыбоводстве позволяет многократно использовать один из важнейших ресурсов планеты – воду, это важно с позиции сохранения качества среды, снижения экологической нагрузки на территории.

Ключевые слова: аквакультура, водохранилище, водоем-охладитель, садковое хозяйство, рециркуляционные системы, биофильтр, перифитон, аквапоника.

Для цитирования: *Калайда М. Л., Хамитова М. Ф., Калайда А. А., Борисова С. Д., Бабинова В. В.* Элементы циркулярных технологий в аквакультуре // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 2. С. 76–89. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-2-76-89.

Введение

Понятие «аквакультура» включает все формы выращивания водных животных и растений в различных типах водоемов с разными характеристиками среды. Аквакультура имеет ту же цель, что сельское хозяйство: увеличение производства продуктов питания выше уровня, соответствующего производимому естественным путем. Основной задачей развития аквакультуры сегодня является увеличение доли мирового производства водных пищевых продуктов [1].

Доля белка в мышцах рыбы составляет 65 % от сухой массы и 18 % от массы во влажном состоянии, и это значение выше, чем доля белка в говяжьем мясе (16,18 %), яйцах (13,6 %) и молоке (3,8 %) [2]. Это и определило исторически высокое значение рыбы в питании человека. Предположительно к 2030 г. доля рыбной продукции, потребляемой человеком, достигнет отметки 89 % [1]. Причиной такого увеличения станут высокий спрос, связанный с ростом доходов, и урбанизация наряду с повышением объемов производства рыбы в промышленных хозяйствах при сокращении общемировых уловов. Тренд на увеличение доли полезных для здоровья продуктов в рационе также повышает спрос на рыбу. Ожидается, что в 2030 г. объем потребления пищевой рыбы в мире составит 28 млн т в эквиваленте живого веса, что превысит уровень 2018 г. на 18 %. Однако в связи с пандемией коронавируса темпы наращивания производства сократятся, цена на рыбу увеличится, среднегодовой рост населения замедлится и, соответственно, среднегодовые темпы роста потребления пищевой рыбы за прогнозный период (1,4 %) будут ниже, чем в 2007–2018 гг. (2,6 %) [1].

Аквакультурные хозяйства в основе своей используют водные ресурсы региона. Уровень развития промышленного потенциала территории определяется развитием энергетики, при этом для энергетических объектов главной ресурсной частью так же, как для аквакультуры, является вода высокого качества. Развитие региона Средней Волги тесно связано с зарегулированием р. Волги и превращением ее в каскад водохранилищ (рис. 1): Верхневолжского (1944 г.), Ивановского (1937 г.), Угличского (1939–1943 гг.), Рыбинского (1940–1949 гг.), Горьковского (1955–1957 гг.), Чебоксарского (1981 г.), Куйбышевского (1955–1957 гг.), Саратовского (1967–1968 гг.), Волгоградского (1958–1960 гг.), Камского (1954–1956 гг.), Воткинского (1961–1964 гг.), Нижнекамского (1978 г.) [3].

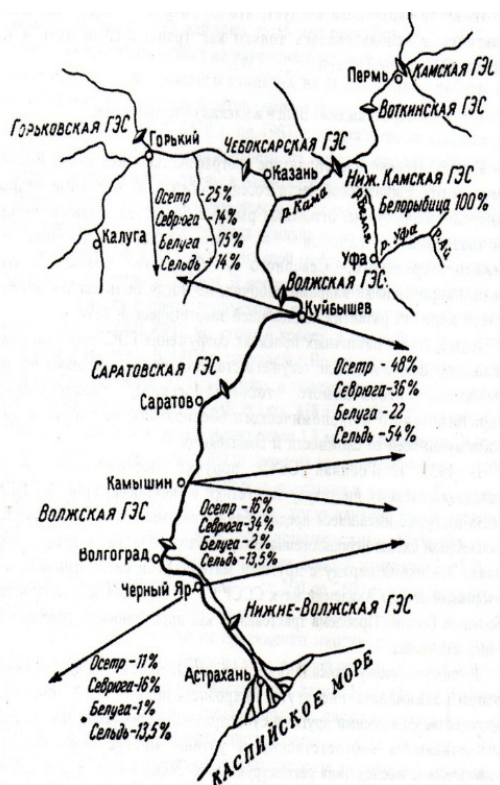


Рис. 1. Схема основных нерестилищ проходных рыб на р. Волга до создания водохранилищ [3]

В связи с изменениями условий для нерестилища осетровых рыб некоторыми учеными-исследователями высказывались мнения о недопустимости строительства гидроузлов на Нижней Волге (рис. 1) [3].

Изменение гидрологических и гидрохимических характеристик реки, обусловленное решением энергетических задач, определило будущие задачи по формированию ихтиоценоза реки и воспроизводству осетровых рыб.

О состоянии водных биоресурсов судят по структуре рыбного населения водоемов и величине уловов для обеспечения людей качественной рыбной продукцией. Ежегодные уловы в регионе Средней Волги до ее зарегулирования варьировали от 1 350 до 1 910 т. Большие уловы в водоемах Татарстана до образования Куйбышевского водохранилища отмечались в начале 30-х гг. XX в. – 2 020 т (1932 г.) – 2 300 т (1933 г.). В настоящий период ежегодные уловы в Куйбышевском водохранилище составляют 3 438,1 т (2017 г.) – 4196,8 т (2014 г.) [4]. Рост уловов был связан с увеличением рыбохозяйственной площади водоема и увеличением его трофического статуса в связи с повышением доли мелководий, снижением скорости течения, увеличением температуры в водоеме. Однако величины рыбопродуктивности, запланированные при организации Куйбышевского водохранилища, не были достигнуты.

При планировании Куйбышевского водохранилища предполагалось проведение работ по направленному формированию состава ихтиофауны и созданию возможности увеличения уловов до 20 000–24 000 т [4]. По данным доклада в 2020 г. Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций [1] отмечаются две основные тенденции в изменении вылова рыбы по основным водосборным речным бассейнам. Первая тенденция – рост вылова рыбы во внутренних водоемах – отмечается в 37 странах, на долю которых приходилось 58,7 % мирового вылова рыбы во внутренних водоемах: самый значительный рост был отмечен в Китае, Индии, Камбодже, Индонезии, Нигерии, Российской Федерации и Мексике. В 28 странах, на которые приходилось 5,9 % мирового вылова во внутренних водоемах, вылов сокращался, а объем продукции аквакультуры значительно рос – в Бразилии, Таиланде, Вьетнаме и Турции.

Доля реки Волги в глобальном вылове рыбы по основным водосборным речным бассейнам в мире от общего вылова – 0,28 %, а Каспийского моря – 0,76 % [1].

По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций [1] на период до 2030 г. необходимы реформаторские шаги, направленные на траекторию устойчивого развития аквакультуры. Проблема связана с ростом мирового населения, которое приближается к 10 млрд чел. и необходимостью производства продуктов потребления в достаточном количестве при сохранении высокого качества среды обитания. Для увеличения производства продовольствия в настоящее время активно используются инновационные биотехнологические приемы производства рыбной продукции, одновременно использующие циркулярные биотехнологии, вовлекающие в производственный цикл отходы различных производств, что важно с позиций сохранения качества среды и снижения экологической нагрузки на территории. Еще более экологичными являются рециркулярные технологии, вовлекающие отходы в производственный цикл многократно. Так, если отходы сельскохозяйственных производств вовлекаются в качестве кормовых добавок как элементы циркулярных технологий, то многократно используемая теплая вода как отход, например, энергетики в аквакультурных установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) является примером рециркулярных технологий.

Цель нашего исследования – рассмотреть приемы применения циркулярных технологий в аквакультуре современного Среднего Поволжья.

Материал и методика исследования

В процессе работы проанализированы результаты собственных исследований, литературные данные по различным направлениям развития циркулярной аквакультуры, изучены статистические сведения об уловах и величине производства рыбы. При анализе биологических характеристик объектов аквакультуры, включая перифитон в биофильтрах промышленных рыбодонных установок, использовались традиционные методы сбора, обработки и анализа данных. Проанализированы и обобщены материалы по применению аквапоники, перифитонному сообществу очистных сооружений, выращиванию теплолюбивых видов аквакультуры. В анализе использованы материалы об объектах, содержащихся в УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ) с 2016 г.

Эксперимент по выращиванию базилика проводился в модельной экспериментальной аквапонической установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» КГЭУ. Эксперимент по выращиванию салата в аквапонике длился 30 суток, по выращиванию базилика – 60 суток. Растения находились под фитолампой. Контрольные замеры проводились раз в 10 дней. Выращивание базилика проводилось на метаболитах карасей обыкновенных (*Carassius carassius* L.,

1758) массой 100–150 г при плотности посадки 20 кг/м³. Выращивание салата проводилось на метаболитах клариевых сомов (*Clarias gariepinus*) массой 700–800 г при плотности посадки 40 кг/м³. Для характеристики гидробиоценоза биофильтра УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО КГЭУ рассчитан индекс доминирования Паляя – Ковнацки [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Использование водоемов-охладителей в рыбоводстве. В развитии циркулярных технологий в аквакультуре Среднего Поволжья прослеживается последовательность, соответствующая общемировым тенденциям.

С 1970 г. продукция аквакультуры в мире увеличивается на 7,5 % в год, это говорит о ее важной роли как фактора массовой продовольственной защищенности страны [1]. В этот период в Среднем Поволжье основным направлением работ является пастбищная аквакультура в Куйбышевском водохранилище с отдельными выпусками ценных видов рыб. В связи с принятием Продовольственной программы в 1980-х гг. в целях производства рыбы начинается активное использование теплых вод водоема-охладителя Заинской ГРЭС [4]. Многие современные электростанции используют для охлаждения отработанных теплых вод градирни и водоемы-охладители. При этом расход воды, охлаждающей конденсаторы турбин, составляет примерно 50 м³/с на 1 000 МВт электрической мощности, а ее температура при этом не должна повышаться более чем на 10 °С. Для отвода такого количества тепла необходимо иметь площадь зеркала водоема-охладителя 10–12 км² на 1 000 МВт, при этом количество воды, идущей на испарение, достигает 30 × 10⁶ м³/г [6]. Это тепло, отводимое отработанной охлаждающей водой, имеет низкий температурный потенциал и может использоваться в рыбоводстве, образуя так называемый «энерго-биологический комплекс».

Водоем-охладитель Заинской ГРЭС использовался для нагула растительноядных рыб дальневосточного комплекса – белого и пестрого толстолобиков и их гибридов. Интродукция в разные годы осуществлялась разновозрастными особями толстолобиков: личинками, сеголетками, годовиками, двух- и даже трехлетками. В 1995–1997 гг. в Заинском водохранилище их запасы оценивались в 20–25 т (около 3,5–4 тыс. экз.). В 1996 г. в уловах крупнейшими сетями (100–120 мм) 71 % рыб составляли толстолобики поколения 1989 г., 21 % – 1987 г. рождения и по 4 % встречались рыбы 1984 и 1985 гг. рождения. К 8–9 году жизни в условиях водоема-охладителя Заинской ГРЭС толстолобики практически достигали максимальных размеров – имели длину тела около 1 м. Для условий воспроизводства использовались особи 7-летнего возраста. В мае они находились на 4-й стадии зрелости гонад и были пригодны для искусственного воспроизводства. Абсолютная плодовитость самок варьировала от 646,8 до 1 800 тыс. икринок, которые в ястыках были представлены двумя размерными группами: с диаметром 4–8 и 12–18 мм. Масса семенников у самцов, находящихся на 4-й стадии зрелости гонад, варьировала от 40 до 70 г.

Как элемент циркулярной технологии отработанные теплые воды ГРЭС можно использовать не только в качестве основы пастбищной аквакультуры, но и как базы для размещения садковой линии по выращиванию товарной рыбы. В таких водоемах формируется природная экосистема и можно осуществлять рыборазведение. Воды водоемов-охладителей полностью соответствуют определению термина «природно-техногенный объект», данному в ст. 1 Закона «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. Электростанции многопланово воздействуют на водные экосистемы прудов-охладителей. Наибольшее значение имеют подогрев воды, который, с одной стороны, положительно влияет на организмы, с другой – может вызвать массовую гибель рыб при увеличении температуры, а также термическое эвтрофирование. Организмы также могут попадать во внутренние части технических систем. Еще одно негативное последствие попадания организмов в технические системы – развитие внутри системы сообщества организмов-обрастателей (перифитона).

В начале XXI в. в связи с увеличением конкуренции за возможные ресурсы масштабы использования садкового выращивания объектов аквакультуры увеличились [7–9]. Основными производителями мировой садковой аквакультуры являлись Норвегия (605 306 т/год), Чили (588 060 т/год), Япония (272 821 т/год), Великобритания (135 253 т/год), Вьетнам (126 000 т/год), Канада (98 441 т/год), Турция (78 924 т/год), Греция (76 577 т/год), Индонезия (67 672 т/год) и Филиппины (66 249 т/год) [10].

В зарубежной мировой практике используются индивидуальные садковые участки, объединенные в коллективные интенсивные садковые хозяйства для увеличения рентабельности. Кооперация позволяет отправлять на экспорт достаточно большую часть произведенной продукции. Увеличение масштабов и интенсификация производства, с одной стороны, приводят повышению рентабельности, с другой стороны, интенсивная эксплуатация водных экосистем водохранилищ отражается на их устойчивости. Это проявилось в водохранилищах Цирата и Сагулинг на р. Цитарум (Индонезия), где количество садков намного превысило потенциальную емкость экологических систем этих двух водохранилищ [10]. В результате это привело к смертности рыбы, социальным конфликтам и повышению восприимчивости рыб к заболеваниям, самым последним событием была массовая смертность карпа обыкновенного, пораженного вирусом герпеса кои (KHV) [11]. Другим ярким примером может служить смертность рыбы в условиях аномально жаркой температуры в 2016 г. в регионе Средней Волги, которая привела к заморным условиям в районе размещения садковой линии на водоеме-охладителе Заинской ГРЭС, когда смертность рыбы за одну ночь привела к потере 170 т карпа в садках (рис. 2).



Рис. 2. Замор рыбы в ОАО «Заинский рыбхоз» в 2016 г.

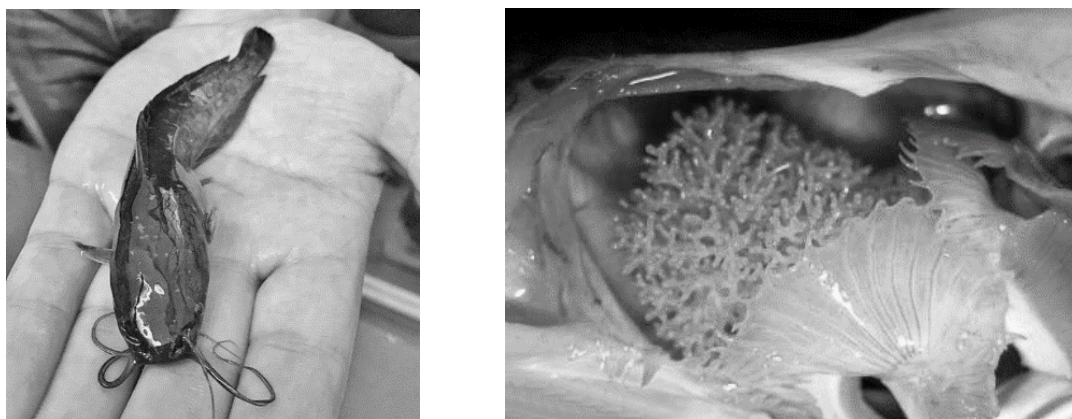
Возникает задача подбора объектов выращивания в условиях, которые оказались неприемлемыми для рыб средней полосы, – при температуре воды более 30 °С и низком содержании кислорода (до 5 мг/л). Садковая форма выращивания рыбы на отработанных теплых водах объектов энергетики как высокоинтенсивная форма аквакультуры может быть дополнена, например, введением в культуру выращивания новых объектов с быстрым темпом роста, теплолюбивых и не требовательных к содержанию кислорода в воде. В связи с этим в 70-х гг. XX в. в аквакультуру России вводятся различные сомы-акклиматизанты. В 1972 г. в Россию завезены канальные сомы – *Ictalurus punctatus* (Raf.) – основные объекты товарного рыбоводства в Америке и излюбленные объекты спортивного рыболовства. Это теплолюбивые объекты, не требовательные к содержанию кислорода в воде.

Были разработаны методы воспроизводства канальных сомов: прудовой, садковой и аквариумной. Канальные сомы активно использовались для выращивания в садковых хозяйствах на теплых водах объектов энергетики [11–13]. В связи с изменением экономической ситуации в стране их интродукция в регион Среднего Поволжья не осуществлялась.

В настоящее время, на этапе полного понимания необходимости активно развивать интенсивные формы производства аквакультурной продукции для обеспечения не только здоровья населения, но и продовольственной безопасности, перспективным объектом выращивания на теплых водах является африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*). Работы по его рыбохозяйственному освоению были начаты в России в 1996 г. [14].

Нильский клариас (*Clarias anguillaris*), по сравнению с *Clarias gariepinus*, способен выдерживать еще более высокие температуры и еще более неприхотлив в питании.

Кларики обладают высокой скоростью массонакопления: от личинки до товарной массы 1,2 кг время выращивания составляет 6 месяцев в условиях теплых вод; отличаются устойчивостью к заболеваниям [14, 15]. Главной особенностью клариевых сомов, благодаря которой они заняли заметное место в тепловодной аквакультуре, является наличие специального наджаберного органа для дыхания атмосферным кислородом [16]. От жаберной полости отходит древовидно разветвленный наджаберный орган, стенки которого пронизаны множеством кровеносных сосудов и имеют очень большую поверхность (рис. 3).



а

б

Рис. 3. Молодь *Clarias gariepinus* (а) и наджаберный орган дыхания клариевого сома (б)

Перспективными объектами садкового рыбоводства на теплых водах являются и другие представители сомообразных – шильбовые сомы: пангасиус сиамский *Pangasius sutchi* (Fowler, 1937) и *Pangasius hypophthalmus* из семейства пангасиевых (Pangasiidae), которых называют акульевыми сомами. Последний относится к видам, производимым в мировой аквакультуре в самых больших количествах, его доля в уловах 2018 г. составляет 4,3 % [1]. Эти гидробионты получили широкое мировое признание как перспективные объекты садкового индустриального рыбоводства. Они могут использоваться для садкового выращивания на теплых водах объектов энергетики.

Несомненно, садковое рыбоводство обладает рядом преимуществ. Но можно выделить и негативное влияние садкового рыбоводства на водоем. Из-за высоких плотностей посадки рыб в садках и их интенсивного кормления искусственными кормами увеличивается концентрация органических веществ в водоеме, т. е. запускаются процессы эвтрофикации.

Индустриальная аквакультура. В России в пресноводных рыбоводных хозяйствах разных типов в начале XXI в. годовой общий объем товарной рыбной продукции составлял 105–128 тыс. т, в том числе растительноядных рыб – 28,5–35,0 тыс. т, частичковых – 56,1–68,8 тыс. т, лососевых – 11,5–14,0 тыс. т, сиговых – 6,5–7,5 тыс. т.; осетровых – 2,1–2,7 тыс. т. Производство товарной рыбы различных видов в индустриальных хозяйствах в этот же период составило 15,1–19,5 тыс. т [17]. В таких странах, как Норвегия, Чили, Китай и Индия, объем производства рыбной продукции в несколько десятков раз больше [18].

В последние годы для удовлетворения растущего потребительского спроса на рыбу, как отклик на необходимость увеличения эффективности производства, во всем мире активно развивается индустриальная аквакультура на базе УЗВ. Она позволяет получать значительный выход рыбопродукции с единицы площади или объема: по клариевым сомам до 300 кг/м³ и более. С помощью УЗВ специалисты имеют возможность заниматься культивированием или содержанием гидробионтов в условиях требуемого температурного режима. Это позволяет существенно увеличить эффективность производства за счет выращивания видов-акклиматизантов. При этом не нарушаются природные экосистемы. В связи с расширением биотехнологий выращивания в УЗВ ценных объектов в процесс могут вовлекаться не только рыбы, но и теплолюбивые гид-

робионты. Например, выращивание австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) на теплых водах в УЗВ может стать важным элементом аквакультуры по производству элитной деликатесной продукции.

Рециркуляционные системы в аквакультуре (УЗВ) представляют собой сложные по составу комплексы, включающие участки выращивания рыбы и участки жизнеобеспечения. Это позволяет многократно использовать один из важнейших ресурсов планеты – воду.

Для обеспечения требуемого качества воды в УЗВ используются биофильтры, в которых складываются гидробиоценозы, способные к очистке вод в системе. Остатки корма и экскременты создают нагрузку по органическим соединениям на биологические фильтры. Некоторая доля продуктов метаболизма рыб растворяется, а часть органики необходимо преобразовать в безопасные вещества. Особое внимание уделяется азотосодержащим отходам. Изучение особенностей гидробиоценозов биофильтров позволяет оценивать качество очистки вод. Индикаторной группой становится перифитон, формирующийся на элементах загрузки биофильтра (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Биологические фильтры установок с замкнутым циклом водоснабжения:

а – осетрового рыбноводного комплекса;

б – на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Для исследования биоценоза использовали пластины для обрастаний [19], которые просматривались еженедельно. Дальнейший анализ осуществляется путем микроскопирования под покровным стеклом. Гидробионты определялись живыми по таблицам и рисункам по [5, 19].

Проведенное исследование выявило в перифитоне биофильтра осетрового рыбноводного завода 32 вида и форм организмов, а в экспериментальной УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» при содержании в бассейнах разных объектов аквакультуры – 22 вида и форм организмов перифитона.

Растительные жгутиконосцы (Phytomastigophorea) представлены в перифитоне биофильтра осетрового завода формами *Ceratium hirudinella* (частота встречаемости (ч. в.) 50 %), *Chilomonas oblonga* (25 %), *Trachelomonas hispida* (25 %). Из амёб встречались *Polychaos fasciculatum* (25 %). В перифитоне биофильтра встречались раковинные корненожки (Testacealobosia), инфузории (*Ciliophora*), среди которых широко представлены перитрихи (Peritricha). Также отмечались планарии, нематоды, коловратки. Олигохеты были представлены 2 видами: *Aelosoma hemprichi* (ч. в. 100 %) и *Chaetogaster diaphanus* (ч. в. 75 %). Индексы доминирования Паляя – Ковнацки, рассчитанные по структуре перифитона биофильтра УЗВ кафедры, представлены на рис. 5.

Таким образом, к доминирующим формам в перифитоне биофильтра можно отнести *Aelosoma hemprichi* из олигохет. К субдоминантам относятся *Planaria* sp., из перитрих – *Euplotes affinis*, *Vorticella picta typical*, *Aspidisca costata* из коловраток – *Collotheca* sp., *Encentrum putorius* из раковинных корненожек – *Arcella* sp., нематоды, из олигохет – *Chaetogaster diaphanus*. Остальные представители перифитона относятся к субдоминантам первого порядка.

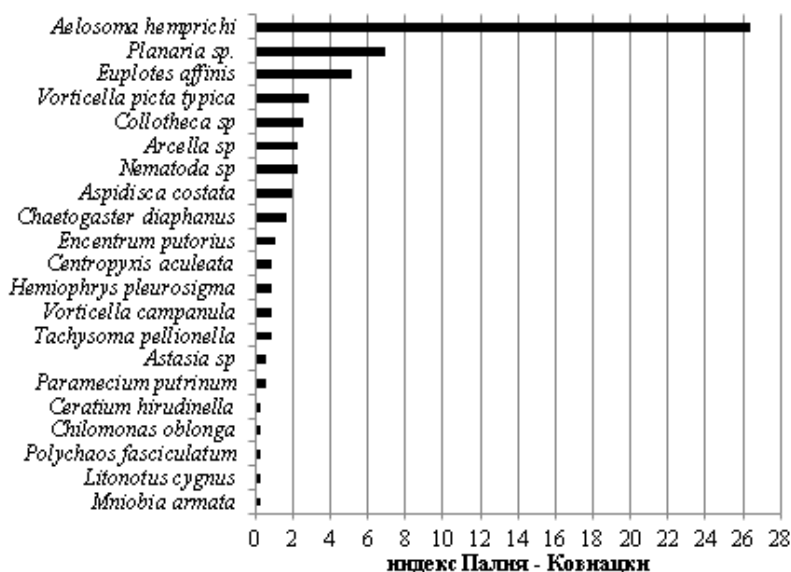


Рис. 5. Индексы доминирования Палия – Ковнацки перифитона биофильтра УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» в 2020 г.

Индексы видового сходства в изученных биоценозах биофильтров составили: индекс Серенсена – 0,74, индекс Жаккара – 0,58, индекс Маунтфорда – 0,121.

При оценке качества вод по составу биоценоза биофильтров проведен гидробиологический анализ индикаторных значений организмов (рис. 6).

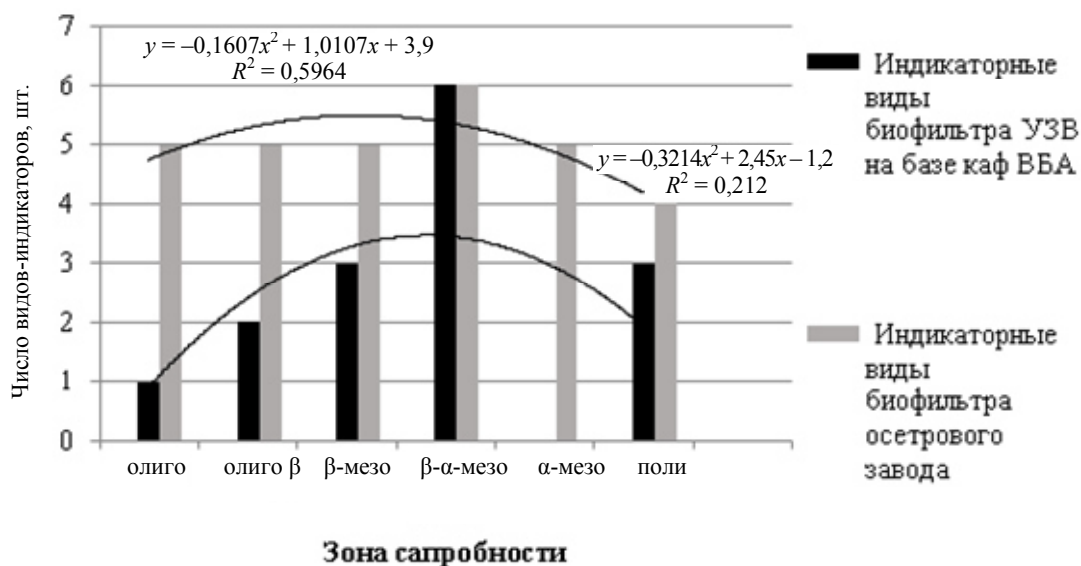


Рис. 6. Соотношение индикаторных видов разной зоны сапробности

По количеству видов-индикаторов в биофильтре УЗВ кафедры с разными видами гидробионтов в бассейнах преобладали организмы, характерные для β-α-мезосапробной зоны, такие как *Hemiphrys pleurosigma* (Stokes, 1884), *Epistylis urceolata* (Stiller, 1933), *Euplotes affinis* (Dujardin, 1841), *Aeolosoma hemprichi* (Ehrenberg 1828).

В биофильтре осетрового завода также преобладали организмы, характерные для β-α-мезосапробной зоны, такие как *Actinophrys sol* (Ehrenberg, 1830), *Hemiphrys pleurosigma* (Stokes, 1884), *Epistylis urceolata* (Stiller, 1933), *Euplotes affinis* (Dujardin, 1841), *Tokophrya mollis* (Bütschli, 1889), *Aeolosoma hemprichi* (Ehrenberg 1828).

Данное исследование интересно и тем, что оно демонстрирует усложнение водного гидробиоценоза, организованного для содержания объектов аквакультуры в искусственно созданной

системе на искусственных кормах. Формирующийся сложный гидробиоценоз обрастателей – набор консументов разного порядка. Таким образом, рыбоводная система с элементами циркулярных технологий становится подобна природной экосистеме.

Аквапоника как форма аквакультуры. Дальнейшее развитие циркулярного подхода при эксплуатации УЗВ состоит в том, что не только вода используется многократно, но и продукты жизнедеятельности рыб служат источником питательных веществ для других объектов выращивания, например в аквапонике.

Аквапоническая технология основана на совместном выращивании объектов аквакультуры и ценных видов растений, которые в процессе роста утилизируют продукты метаболизма рыб (азотистые, калийные, фосфорные соединения, углекислый газ), растворенные в воде. Вода очищается естественным путем и обогащается кислородом, отсутствует необходимость удобрять растения, как это делается в гидропонике. Таким образом, аквапоника – это циркулярная биотехнология, основанная на вторичном использовании не только отработанной воды, но и метаболитов рыб.

Аквапоника активно развивается в Нидерландах, где в рамках проекта EcoFutura разработана технология выращивания помидоров в зимнее время в условиях аквапонической установки. В США, Канаде и Европе аквапоника развивается как вид городского сельского хозяйства. Американские инженеры и биологи разработали фермы Aquaponics USA, состоящие из двух контейнеров для рыб и для растений, насосов и труб. В Литве компания ЗАО «Аквапоника» занимается выращиванием африканских сомов и различных растений, таких как латук, шпинат, пряные растения (укроп, петрушка, календула, базилик). Швейцарская компания Urban Farmers разработала контейнеры, состоящие из аквариума и минигорода [20].

Результаты экспериментального выращивания базилика овощного (сорт «Фейерверк вкуса», «Ереванский») и салата (сорт «Махагон» и «Лолло») в модельной аквапонической установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» представлены на рис. 7 и 8.



Рис. 7. Аквапоническое выращивание салата (а) и базилика (б)

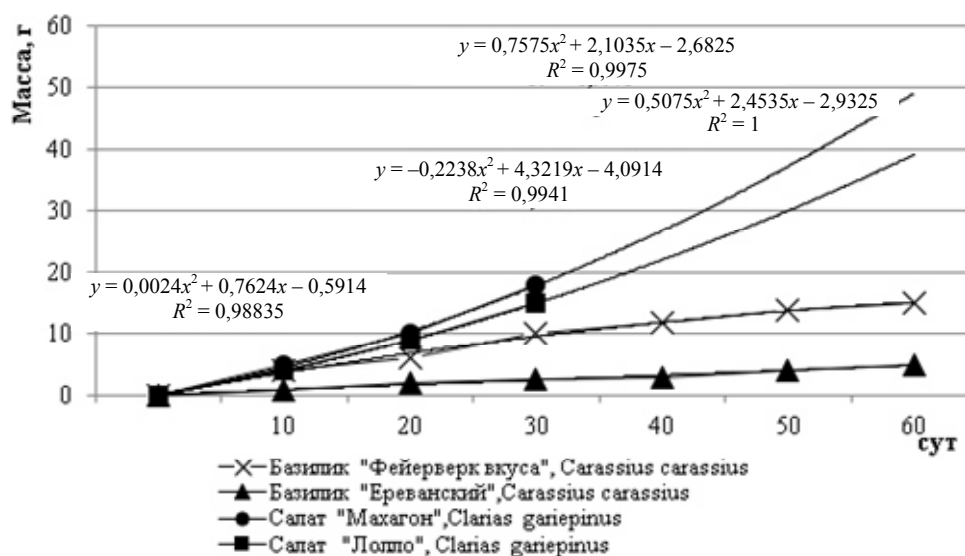


Рис. 8. Изменение массы базилика и салата при экспериментальном выращивании в системе аквапоники

Как видно из данных рис. 8, в зимний период на метаболитах рыб хорошо росли пряные овощные культуры – салат и базилик, – при этом салат, выращенный на метаболитах клариевых сомов, отличался более высокой скоростью прироста массы.

Исследования в природных экосистемах показали, что при выращивании в поликультуре одни виды рыб могут обеспечить питание другим видам за счет своих экскрементов [20, 21]. Известно, что экскременты содержат более 85 % воды, в их сухом веществе находится 7–17 % сырого протеина, 50 % углеводов, 15 % минеральных веществ [22].

В последнее время в США, Бангладеш, Китае, Вьетнаме появились плавающие системы аквапоники [23]. Таким образом, аквапоника как циркулярный элемент аквакультуры может использоваться в комбинированных биотехнологиях. По данным ФАО, именно аквапонические технологии поддержат экономическое развитие и улучшат питание населения, что, в свою очередь, решит глобальную задачу снабжения продовольствием [24].

Заключение

Аквакультура и аквапоника как специфичные компоненты современного аграрного сектора в развитии ориентированы на индустриальные технологии производства с применением циркулярных технологий для эффективного использования ресурсов. Основными задачами производств является создание синергетического эффекта при объединении систем производства продовольствия, сокращение объемов используемых водных ресурсов, снижение уровня загрязнения, увеличение эффективности производства.

Более эффективное использование ресурсов реализуется при использовании индустриальных форм рыбоводства на теплых водах, в том числе на теплых водах объектов энергетики.

При выборе форм аквакультуры необходимо правильно подобрать объект выращивания. В современных условиях наиболее успешным объектом для выращивания в условиях теплых вод при высоких плотностях посадки являются клариевые сомы *Clarias gariepinus*.

Рециркуляционные системы в аквакультуре (УЗВ) представляют сложные по составу комплексы, включающие участки выращивания рыбы и участки жизнеобеспечения. Они являются концентраторами циркулярных технологий: позволяют многократно использовать один из важнейших ресурсов планеты – воду, при кормлении рыб применять искусственные корма, создавать аквапонические комплексы. Размещение производственных мощностей в закрытых помещениях позволяет обеспечить эффективное круглогодичное производство вне зависимости от климатических условий. Таким образом, в сельскохозяйственное производство вовлекаются дополнительные территории с низким продуктивным статусом.

Проведенные исследования выявили многообразие и сложность биосистем биофильтров в рециркулярных установках и показали эффективность выращивания овощных пряных культур в аквапонике.

Использование циркулярных элементов в современной аквакультуре позволяет повысить экологичность индустриальных производств и снизить нагрузку на природные экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры: достижение целей устойчивого развития 2018 // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние202018.pdf> (дата обращения: 20.02.2020).

2. Куцакова В. Е., Уварова Н. А., Мурашев С. В., Ишевский А. Л. Примеры и задачи в холодильной технологии пищевых продуктов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУНиПТ, 2002. Ч. II. Общая технология отрасли. 289 с.

3. Авакян А. Б. Волга в прошлом, настоящем и будущем. М.: Экспресс-3М, 1998. 20 с.

4. Калайда М. Л. История и перспективы развития рыбного хозяйства Татарстана. Казань: Матбугат йорты, 2001. 96 с.

5. Кутикова Л. А. Фауна аэротенков: атлас. Л.: Наука, 1984. С. 264.

6. Васильев А. М. Развитие тепличных хозяйств при условии использования потенциала энергоснабжающих предприятий // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. 2011. № 2. С. 48–56.

7. Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Chapin S. F., Coe M. T., Daily G. C., Gibbs H. K., Helkowski J. H., Holloway T., Howard E. A., Kucharik C. J., Monfreda C., Patz J. A., Prentice I. C., Ramankutty N., Snyder P. K. Global consequences of land use // Science. 2005. N. 309. P. 570–574.

8. *Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., Polasy S.* Agricultural sustainability and intensive production practices // *Nature*. 2002. N. 418. P. 671–677.
9. *Обзор* садковой аквакультуры: северная Европа // Садковая аквакультура – региональные обзоры и всемирное обозрение. Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству. No. 498. Рим: ФАО, 2010. С. 135–163. URL: <http://www.fao.org/3/a1290r/a1290r08.pdf> (дата обращения: 20.12.2020).
10. *Bondad-Reantaso M. G.* Trans-boundary aquatic animal diseases: focus on koi herpes virus (KHV) // *Aquaculture Asia*. 2004. N. 9. P. 24–28.
11. *Виноградов В. И., Ерохина Л. В., Кривцов В. Ф., Колмыков Л. В.* Разведение и выращивание канального сома: метод. рек. М.: ВНИИПРХ, 1982. 46 с.
12. *Рыбоводно-биологические нормы* выращивания рыбы на сбросных теплых водах ТЭС и АЭС: метод. рек. М.: ВНИИПРХ, 1985. 34 с.
13. *Власов В. А.* Результаты выращивания африканского сома при различных условиях кормления и содержания // *Изв. ТСХА*. М., 2009. Вып. 3. С. 136–146.
14. *Калайда М. Л., Пизанов Е. С., Калайда А. А., Хамитова М. Ф.* Клариевый сом *Clarias gariepinus* при задачах искусственного воспроизводства // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: V Национ. науч.-практ. конф. (Калининград, 22–23 октября 2020 г.). Саратов: Амирит, 2020. С. 108–112.
15. *Никифоров А. И.* Особенности морфологического строения африканского сома *Clarias gariepinus* // Аквакультура и интегрированные технологии: проблемы и возможности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию Моск. рыбовод.-мелиоратив. опытной станции и 25-летию ее реорганизации в ГНУ ВНИИР (11–13 апреля 2005 г.). М.: 2005. С. 215–219.
16. *Мамонтов Ю. П.* Аквакультура и экология // *Экологический вестник России*. 2007. № 9. С. 15–17.
17. *Калайда М. Л., Садыкова Л. Н.* Перспективы выращивания австралийских красноклешневых раков *Cherax quadricarinatus* на теплых водах объектов энергетики // Междунар. водно-энергет. форум – 2018: сб. материалов докл.: в 2 т. Казань: Изд-во Казан. гос. энерг. ун-та, 2018. Т. 1. С. 97–101.
18. *Abery N. W., Sukadi F., Budhiman A. A., Kartamihardja E. S., Koeshendrajana S.* Fisheries and cage culture of three reservoirs in West Java, Indonesia; a case study of ambitious developments and resulting interactions // *Fisheries Management and Ecology*. 2005. N. 12. P. 315–330.
19. *Логинова Е. В., Лопух П. С.* Гидроэкология: курс лекций. Минск: Изд-во БГУ, 2011. 300 с.
20. *Graber A., Junge R.* Aquaponics systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production // *Desalination*. 2009. № 246. P. 147–156.
21. *Виноградов В. К.* Поликультура в товарном рыбоводстве: обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИРХ, 1985. 36 с.
22. *Duncan T.* Aquaponics floating biofilter grows rice on fish ponds. URL: <http://www.aquabiofilter.com/> (дата обращения: 19.12.2020).
23. *Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A.* Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming // *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. 2014. N. 589. 262 p.
24. *Щербина М. А., Гамыгин Е. А.* Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.

Статья поступила в редакцию 25.02.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Марина Львовна Калайда – д-р биол. наук, профессор; зав кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры; Казанский государственный энергетический университет; Россия, 420066, Казань; kalayda4@mail.ru.

Мадина Фархадовна Хамитова – канд. биол. наук; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Казанский государственный энергетический университет; Россия, 420066, Казань; it-sk@bk.ru.

Андрей Андреевич Калайда – старший рыбовод; ООО «Биосфера-Фиш»; Россия, 420066, Казань; Charict131@gmail.com.

Светлана Дмитриевна Борисова – канд. техн. наук; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Казанский государственный энергетический университет; Россия, 420066, Казань; Svetlana-zag@bk.ru.

Валерия Владимировна Бабикина – аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Казанский государственный энергетический университет; Россия, 420066, Казань; lera.babikova.1995@mail.ru.



ELEMENTS OF CIRCULAR TECHNOLOGIES IN AQUACULTURE

M. L. Kalaida¹, M. F. Khamitova¹, A. A. Kalaida², S. D. Borisova¹, V. V. Babikova¹

¹*Kazan State Power Engineering University,
Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation*

²*ООО "BIOSPHERE-FISH",
Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation*

Abstract. The elements of circular technologies in aquaculture on various types of energy are considered. The development of forms of aquaculture from pasture to industrial with an increase in the share of circular technologies is shown. It is noted that the use of cage fish farming on the waste waters of energy facilities is complicated by eutrophication at high fish planting densities and the peculiarities of temperature and hydrochemical regimes. The need to select new aquaculture objects with a fast growth rate, thermophilic and not demanding to the oxygen content in the water is noted: the African clarias catfish (*Clarias gariepinus*) is a promising object for growing in warm waters. The possibilities of including other representatives of catfish - shilbovye catfish (*Pangasius*) - are considered. It is shown that due to the expansion of biotechnologies for growing valuable objects in installations with a closed water supply cycle, thermophilic hydrobionts, for example, the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus*, can be used as elite delicatessen products. It is shown that the complex hydrobiocenosis of fouling is formed by a set of consults of different orders. A fish-breeding system with elements of circular technologies becomes similar in structure to a natural ecosystem. The results of experimental cultivation of spicy vegetable crops on the waste products of carp and clary catfish are presented. Aquaculture and aquaponics as specific components of the modern agricultural sector in development are focused on industrial production technologies with the use of circular technologies for the efficient use of resources.

Key words: aquaculture, reservoir, the reservoir-cooler, charge, air recirculation system, biofilter, periphyton, aquaponics.

For citation: Kalaida M. L., Khamitova M. F., Kalaida A. A., Borisova S. D., Babikova V. V. Elements of circular technologies in aquaculture. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2021;2:76-89. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2021-2-76-89.

REFERENCES

1. Sostoianie mirovogo rybolovstva i akvakul'tury: dostizhenie tselei ustoichivogo razvitiia 2018 [Status of world fisheries and aquaculture: achieving goals of sustainable development 2018]. *Prodovol'stvennaia i sel'skokhoziaistvennaia organizatsiia Ob"edinennykh Natsii*. Available at: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Sostoianie202018.pdf> (accessed: 20.02.2020).
2. Kutsakova V. E., Uvarova N. A., Murashev S. V., Ishevskii A. L. *Primery i zadachi v kholodil'noi tekhnologii pishchevykh produktov: uchebnoe posobie* [Examples and tasks in food refrigeration technology: tutorial]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGUNIPT, 2002. Part II. Obshchaia tekhnologiia otrasli. 289 p.
3. Avakian A. B. *Volga v proshlom, nastoiashchem i budushchem* [Past, present and future of Volga River]. Moscow, Ekopress-ZM Publ., 1998. 20 p.
4. Kalaida M. L. *Istoriia i perspektivy razvitiia rybnogo khoziaistva Tatarstana* [History and prospects of fish industry development in Tatarstan]. Kazan', Matbugat iorty Publ., 2001. 96 p.

5. Kutikova L. A. *Fauna aerotenkov: atlas* [Aeration tank fauna: atlas]. Leningrad, Nauka Publ., 1984. P. 264.
6. Vasil'ev A. M. Razvitie teplichnykh khoziaistv pri uslovii ispol'zovaniia potentsiala energovyrbatvayaiushchikh predpriatii [Development of greenhouses under condition of using potential of power generating enterprises]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, 2011, no. 2, pp. 48-56.
7. Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Chapin S. F., Coe M. T., Daily G. C., Gibbs H. K., Helkowski J. H., Holloway T., Howard E. A., Kucharik C. J., Monfreda C., Patz J. A., Prentice I. C., Ramankutty N., Snyder P. K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, no. 309, pp. 570-574.
8. Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., Polasy S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 2002, no. 418, pp. 671-677.
9. Obzor sadkovoii akvakul'tury: severnaia Evropa [Overview of cage aquaculture: northern Europe]. *Sadkovaia akvakul'tura – regional'nye obzory i vseмирnoe obozrenie. Tekhnicheskii doklad FAO po rybnomu khoziaistvu*. No. 498. Rim; FAO, 2010. Pp. 135-163. Available at: <http://www.fao.org/3/a1290r/a1290r08.pdf> (accessed: 20.12.2020).
10. Bondad-Reantaso M. G. Trans-boundary aquatic animal diseases: focus on koi herpes virus (KHV). *Aquaculture Asia*, 2004, no. 9, pp. 24-28.
11. Vinogradov V. I., Erokhina L. V., Krivtsov V. F., Kolmykov L. V. *Razvedenie i vyrashchivanie kanal'nogo soma: metodicheskie rekomendatsii* [Breeding and cultivation of channel catfish: guidelines]. Moscow, VNIIPRKh Publ., 1982. 46 p.
12. *Rybovodno-biologicheskie normy vyrashchivaniia ryby na sbrosnykh teplykh vodakh TES i AES: metodicheskie rekomendatsii* [Fish-breeding biological norms of fish growing on warm waste waters of TPPs and NPPs: methodical recommendations]. Moscow, VNIIPRKh Publ., 1985. 34 p.
13. Vlasov V. A. Rezul'taty vyrashchivaniia afrikanskogo soma pri razlichnykh usloviiakh kormleniia i sodержaniia [Results of growing African catfish in different feeding and breeding conditions]. *Izvestiia TSKhA*, 2009, iss. 3, pp. 136-146.
14. Kalaida M. L., Piganov E. S., Kalaida A. A., Khamitova M. F. Klarievyi som *Clarias gariepinus* pri zadachakh iskusstvennogo vosproizvodstva [Clarius catfish *Clarias gariepinus* in problems of artificial reproduction]. *Sostoianie i puti razvitiia akvakul'tury v Rossiiskoi Federatsii: V Natsional'naia nauchno-prakticheskaia konferentsiia (Kaliningrad, 22–23 oktiabria 2020 g.)*. Saratov, Amirit, 2020. Pp. 108-112.
15. Nikiforov A. I. Osobennosti morfologicheskogo stroeniia afrikanskogo soma *Clarias gariepinus* [Characteristics of morphological structure of African catfish *Clarias gariepinus*]. *Akvakul'tura i integrirovannye tekhnologii: problemy i vozmozhnosti: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 60-letiiu Moskovskoi rybovodno-meliorativnoi opytnoi stantsii i 25-letiiu ee reorganizatsii v GNU VNIIR (11–13 apreliia 2005 g.)*. Moscow, 2005. Pp. 215-219.
16. Mamontov Iu. P. Akvakul'tura i ekologiia [Aquaculture and ecology]. *Ekologicheskii vestnik Rossii*, 2007, no. 9, pp. 15-17.
17. Kalaida M. L., Sadykova L. N. Perspektivy vyrashchivaniia avstraliiskikh krasnokleshnevykh rakov *Cherax quadricarinatus* na teplykh vodakh ob"ektov energetiki [Prospects for growing Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* on warm waters of energy facilities]. *Mezhdunarodnyi vodno-energeticheskii forum – 2018: sbornik materialov dokladov: v 2 t. Kazan', Izd-vo Kazan. gos. energ. un-ta, 2018. Vol. 1. Pp. 97-101.*
18. Abery N. W., Sukadi F., Budhiman A. A., Kartamihardja E. S., Koeshendrajana S. Fisheries and cage culture of three reservoirs in West Java, Indonesia; a case study of ambitious developments and resulting interactions. *Fisheries Management and Ecology*, 2005, no. 12, pp. 315–330.
19. Loginova E. V., Lopukh P. S. *Gidroekologiia: kurs lektsii* [Hydroecology: course of lectures]. Minsk, Izd-vo BGU, 2011. 300 p.
20. Graber A., Junge R. Aquaponics systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 2009, no. 246, pp. 147-156.
21. Vinogradov V. K. *Polikul'tura v tovarnom rybovodstve: obzornaia informatsiia* [Polyculture in commercial fish farming: overview]. Moscow, TsNIITEIRKh Publ., 1985. 36 p.
22. Duncan T. *Aquaponics floating biofilter grows rice on fish ponds*. Available at: <http://www.aquabiofilter.com/> (accessed: 19.12.2020).
23. Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 2014, no. 589, 262 p.
24. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormlenie ryb v presnovodnoi akvakul'ture* [Fish feeding in freshwater aquaculture]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2006. 360 p.

The article submitted to the editors 25.02.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina L. Kalaida – Doctor of Biology, Professor; Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kazan State Power Engineering University; Russia, 420066, Kazan; kalayda4@mail.ru.

Madina F. Khamitova – Candidate of Biology; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kazan State Power Engineering University; Russia, 420066, Kazan; it-sk@bk.ru.

Andrey A. Kalaida – Senior fish Breeder; LLC “Biosphere – Fish”; Russia, 420066, Kazan; Charict131@gmail.com.

Svetlana D. Borisova – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kazan State Power Engineering University; Russia, 420066, Kazan; Svetlana-zag@bk.ru.

Valeria V. Babikova – Postgraduate Student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kazan State Power Engineering University; Russia, 420066, Kazan; lera.babikova.1995@mail.ru.

