



О.М. Таврыкина, А.Г. Литвинова

РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», Минск, Беларусь

ИЗУЧЕНИЕ АКВАПОННЫХ СИСТЕМ КАК ИННОВАЦИОННОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЫБОВОДСТВА (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Аннотация: Статья посвящена рассмотрению аквапонной технологии выращивания рыбы и сельскохозяйственных культур. Эта технология позволяет достигать значительной интенсификации производства по сравнению с системами УЗВ и гидропонным выращиванием растений. В статье рассматривается применение аквапонной технологии как эффективного, экологичного, биобезопасного метода выращивания рыбы и растений. Освещены принципы работы, различные технологические конструкции аквапонных установок, виды рыб и растений, пригодных к выращиванию методом аквапоники. Показаны рентабельность и недостатки в работе аквапонных установок на примере действующих аквапонных ферм. Рассмотрены масштабы применения данной технологии в мире, а также приведены возможности и перспективы их применения в Беларуси.

Ключевые слова: аквапоника, аквапонная установка, аквакультура, растения, рентабельность аквапонных систем

O.M. Tavrykina, A.G. Litvinova

RUE “Fish Industry Institute” of the RUE “Scientific and Practical Center of Belarus National Academy of Sciences for Animal Husbandry”, Minsk, Belarus

STUDYING OF AQUAPONIC SYSTEMS AS INNOVATIVE DIRECTION OF FISHERIES DEVELOPMENT (LITERATURE REVIEW)

Abstract: The article is devoted to review the aquaponic technology of growing fish and agricultural crops. This technology allows to achieve a significant intensification of production in comparison with recirculation systems and hydroponic plant cultivation. The use of aquaponic technologies



as an effective, ecological, biosafety method for growing fish and plants is considered in this article. The principles of operation, technological designs of aquaponic installations, types of fish and plants are discussed. The efficiency and disadvantages of aquaponic systems are shown on the example of existing aquaponic farms. The scale of application of this technology in the world is considered, as well as the possibilities and prospects of their application in Belarus

Keywords: aquaponics, aquaponic technologies, aquaculture, plants, efficiency of aquaponic systems

Введение. В эпоху энергосбережения и экологических приоритетов важнейшей задачей науки является обеспечение растущего населения качественной, органической и при этом относительно недорогой сельскохозяйственной продукцией в течение всего года. Дополнительной задачей является необходимость исключения из этого процесса загрязненных и эродированных почв и, в свою очередь, недопущение загрязнения почвенных и водных ресурсов.

Одним из таких энергоэффективных, безотходных и биобезопасных направлений науки является метод интегрированного выращивания объектов аквакультуры (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей) и сельскохозяйственных культур (овощные культуры, фрукты, ягоды, травы) в единой, замкнутой системе.

Аквапоника — это «система, которая позволяет получить дополнительную продукцию путем использования побочных продуктов производства первичных видов». На практике, когда наземные растения (вторичные культуры) выращивают в сочетании с рыбой (первичные культуры), система называется аквапоникой и состоит из комбинации УЗВ и гидропонной (безгрунтовой) системы. Аквапонные системы основаны на естественных биологических процессах, таких как нитрификация и фиторемедиация, при этом продукты жизнедеятельности и отходы выращивания рыб являются питательной средой для выращивания сельскохозяйственных культур. Кроме того, они позволяют интенсифицировать производство, сопоставимое с УЗВ и гидропоникой отдельно, способствуют повышению устойчивости и достижению целей продовольственной безопасности. Аквапоника основана на том, что рыба и растения имеют сходные потребности в энергетических и тепловых затратах. Таким образом, достигаются значительные экономические и социальные выгоды [1–3].



Экологичность и биобезопасность аквапонных технологий. Метод аквапоники позволяет не только удешевить конечную продукцию и получить двойной урожай (как правило, рыба и овощные культуры), но также отличается экологичностью, биобезопасностью и энергоэффективностью. Биобезопасность аквапонных систем обусловлена многими факторами. Так, применение метода индустриальной аквакультуры позволяют избежать загрязнения водоемов и их эвтрофикации [4]. Отсутствие применения минеральных удобрений и пестицидов позволяет избежать загрязнения почв, а применение гидропонного компонента подразумевает возможность использования заброшенных и непригодных земельных площадей [5]. Система биофитоочистки сточных вод позволяет уменьшить загрязнение окружающей среды за счет снижения уровня органических веществ (показатель БПК), соединений азота и фосфора [6]. Наличие системы оборотного водоснабжения позволяет снизить потребление чистой воды и сократить ее сбросы. Так, оборотность воды в аквапонных системах может достигать 200 раз [7].

Экологичность аквапонных методов обусловлена применением в производстве исключительно безопасных биопрепаратов (например, культуральная жидкость на основе штамма *Serratia ficaria*), биоудобрений и отсутствием ГМО [6].

Аквапонные системы, построенные по типу теплиц, модульны и легки в эксплуатации, они не зависят от климатических условий и могут функционировать круглый год. Они позволяют с помощью автоматизированного блока контролировать все основные условия получения продукции (температуру, освещенность, влажность, химический состав и режим подачи питательных растворов, интенсивность аэрации воды) [8–9].

В аквапонных системах складываются «кооперативные» взаимоотношения между всеми тремя звеньями системы (рыбы-растения-бактерии) [10]. Это позволяет одновременно получать выгоду от методов интенсивной аквакультуры, гидропоники и процессов бактериальной деструкции, устраняя недостатки каждого из них.

Растения в интегрированных аквапонных системах потребляют продукты жизнедеятельности рыб и не имеют недостатка в питательных элементах [11]. Так, например, отпадает проблема дефицита аммонийного питания как при выращивании в почве, когда почвенная микрофлора в оптимальных условиях быстро превращает аммоний в нитраты [3]. В аквакультуре рыба не потребляет около 5 % корма, в то время как



остальные 95 % попадают в организм и перевариваются [12]. Из этой доли 30–40 % сохраняется и превращается в новую биомассу, а 60–70 % выделяется в виде фекалий, мочи и аммиака. Исследования показывают, что на 1 кг корма (30 % сырого протеина) приходится около 27,6 г N, в то время, как на 1 кг рыбы приходится около 577 г БПК, 90,4 г N и 10,5 г P [2].

С другой стороны, дополнительная очистка воды макрофитами в процессе биофильтрации позволяет ускорить процесс культивирования рыб, увеличить плотности посадки гидробионтов на площадь бассейнов, повысить темпы массонакопления и обеспечить наиболее полное потребление кормов в установках УЗВ [13]. Кроме того, за счет естественной биологической, а также механической очистки воды в аквапонных системах рыба защищена от болезней, что также представляется важным моментом [14].

Сокращение концентрации нитратов в рециркулирующей воде аквапонных систем демонстрируется в опытах Rakocy and Allison (1981), когда водные макрофиты в системе с тилапией поглощали и удаляли 15,8 %, 13,4 % и 12,0 % азота в отработанных водах в опытах с низкой, средней и высокой плотностью посадки рыбы соответственно [15].

В процессе бактериальных циклов, протекающих в биофильтрах установок, аммиак как токсический для рыб метаболит их жизнедеятельности, на первом этапе конвертируется нитрифицирующими бактериями рода *Nitrosomonas* в нитрит-ион (также токсичный), на втором этапе нитрификаторы рода *Nitrobacter* конвертируют нитрит-ион в нитрат-ион — усвояемый источник азота для растений [16, 17]. Суть процесса заключается в окислении аммиака (NH_3) и иона аммония (NH_4^+) до нитратов (NO_3^-) — более доступной формы азота для растений. Таким образом, в интегрированных замкнутых системах в целом снижается необходимость в дорогих процессах микробальной денитрификации.

Другой важной группой аэробных бактерий являются гетеротрофные бактерии, участвующие в минерализации твердых отходов. Нитраты и другие питательные вещества, обогащающие воду, покидают биологический фильтр и циркулируют в направлении гидропонной секции, в которой происходит процесс фиторемедиации, и количество нитратов в воде уменьшается более чем на 97 % [18]. Перед возвращением воды в резервуары с рыбой, проходит ее окончательная УФ-стерилизация.



Безотходность и энергоэффективность также обеспечиваются тем, что не требуется утилизация побочных продуктов обмена веществ рыб, так как они перерабатываются и фильтруются растениями, а также подвергаются микробиальному разложению [19].

В целом, баланс и грамотное сочетание всех трех компонентов аквапонных систем позволяет значительно снизить в растениях, выращиваемых в установках, содержание нитратов по сравнению с аналогами, выращенными на почвенном грунте. Так, по данным И.М. Довлатова с соавторами [20], содержание нитратов в растениях, выращенных совместно с рыбой, достигает 30 мг/кг, а у овощей, выращиваемых на минеральном питании современными способами — до 130–400 мг/кг. При этом растения выращиваются без использования пестицидов, гербицидов, химических удобрений и добавок. Овощи и зелень, выращенные на аквапонике, имеют настоящий, натуральный вкус и аромат независимо от времени года.

Технологические формы, приемы, конструкции аквапонных установок.

Аквапонные установки первично строятся на базе установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) для выращивания аквакультуры. Вторично в них выращиваются растения гидропонным способом. [8]. Отличительными характеристиками аквапоник-систем являются их закрытый тип, постоянная рециркуляция воды, теплопроводность и, как правило, этажный принцип конструкции.

Хотя в их техническом устройстве возможны вариации, все аквапоник-системы построены по общему принципу и функционируют по определенному механизму. Основу конструкции составляют бассейны УЗВ (рыбоводные емкости), система фильтрации (механической и биологической), насосы, обеспечивающие циркуляцию воды, и гидропонный модуль (рис. 1).

Постоянная работа насосов обеспечивает транспорт воды из рыбоводных емкостей на гидропонный модуль и обратно, а также поддерживает водообмен в самих рыбоводных бассейнах. Из резервуаров с рыбой сливной сток поступает в механический барабанный фильтр, где происходит удаление из воды твердых фракций, далее она направляется в отстойник. Из отстойника отфильтрованная вода идет в бак, где происходит добавление в систему свежей воды (примерно 6 % по объему), иногда используется подпитка свежей водой из родника или прудов [4, 19]. Часть воды возвращается в резервуары, а основной поток направляется на биофильтры, где активно протекают процессы бактериально-

го разложения. Этап биофильтрации необходим для эффективной деятельности нитрифицирующих бактерий и удаления из системы избытка углекислого газа.

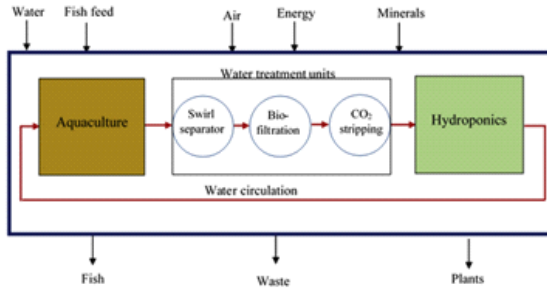


Рис. 1. Принцип работы аквапонной установки [15]
Fig. 1. Operation principle of the aquaponic installation [15]

Аквапоник-система нуждается в аэрации на всех этапах: для поддержания необходимого для рыб уровня углекислого газа, для нормального протекания процессов нитрификации, для роста растений [21]. Аэрацию обеспечивают электромагнитные воздушные компрессоры. Обязательными компонентами аквапонических установок являются освещение (как правило, используются LED-лампы различного спектрального состава) и терморегуляция. Терморегуляцию, как правило, обеспечивают автоматические термонагреватели. Тепличная аквапонная установка, приводимая в исследованиях казахских специалистов, отличалась тем, что в ней нагрев воды производился от солнца [19]. На ранее упомянутом предприятии ECF Farmsystems в г. Берлине подогрев воды в теплицах и установках УЗВ осуществляется теплом от холодильных установок, дополнительно используется подогрев стенным отоплением и рельсовыми трубами на полу [22]. Для управления и координации работы всей установки используются многочисленные системы автоматизированного управления.

Существуют три типа гидропонного модуля, которые используются в различных аквапонных установках:

1. В небольших установках гидропонный компонент представлен блоками, в которых для поддержки корней используется среда из гравия, песка или перлита, содержащая микробиальный субстрат. Она одновременно служит и для транспортировки воды.



2. В более крупных установках используются перфорированные трубы, в отверстия которых посажены растения. Корни растений помещаются в пластиковые лотки или горшки, в которые вода, питательные вещества и кислород непрерывно доставляется тонкой пленкой воды, поступающей по трубам из рыбоводных емкостей. Орошение осуществляется по системе прилив-отлив [16]. Примером данной конструкции является аквапонная установка на базе лаборатории-аквариальной Полесского государственного университета, представляющая собой 4-ярусную систему (28,8 м²), где гидропонный модуль из 3 ярусов расположен над бассейнами с рыбой. Все трубы при этом сообщаются. Из рыбоводных емкостей вода подается насосами на 3 ярус, затем самотеком идет на 2 и 1, затем в биофильтр [13, 23].

3. Так называемые плавучие или плотовые системы. Состоят из листов полистирола с большими желобами, плавающими на поверхности воды. Под ними в воде находятся корни растений. То есть такие системы построены по принципу «плот на воде»: плавающие платформы вмонтированы непосредственно в бассейн с рыбой. [16]. Подобный гидропонный компонент, представляющий собой рафт-систему, использован в аквакомплексе на базе «Кагальник» ЮНЦ РАН [3].

Второй и третий типы гидропонного модуля применяются в системах, специализирующихся на промышленных масштабах культивирования.

В литературе встречается описание определенных модификаций некоторых аквапонных комплексов. Так, в работе А.В. Ковригина приводится опытная аквапонная установка, в которой изучалась эффективность питания растений различными источниками. Бассейны УЗВ при этом делились на две группы: одна функционировала автономно, вторая была подключена к установке по выращиванию растений. Эта установка делилась на 3 участка. Соответственно в одном растения питались только водой, поступающей из УЗВ, в другом — только гидропонным раствором, в третьем — их смесью [8, 24].

Интересной разработкой является аквапонная установка словенских специалистов, включающая мелкие рыбоводные пруды (объем 36 м³), в которых выращивался карп с первоначальной плотностью посадки 0,6 кг/м³, и томаты по системе плотовых плавучих систем [4].

Исследования показывают, что в среднем на каждые 60–100 г подаваемого корма требуется 1 м² культуры гидропоники для посредствен-



ной очистки воды [1]. Площади 1 м² гидропоники хватает, чтобы удалить 0,83 г N и 0,17 г P [2].

В резервуарах для рыбы плотность посадки может варьировать от 20 кг/м³ (ФАО, 2014, 17) до 70–80 кг/м³, и только в некоторых конкретных случаях можно достичь плотности посадки около 140–200 кг/м³, но время использования воды не может превышать 1,2 ч во избежание накопления аммиака после подачи корма.

Виды растений и рыб для аквапоники. В тепличных аквапонных системах можно выращивать разнообразные сельскохозяйственные культуры с различной потребностью в питательных веществах [14]: *низкой* (салат, свекла, руккола, базилик, шпинат, мята, петрушка, кориандр, чеснок, китайская капуста, кресс-салат, горох и фасоль), *высокой* (как правило, плодоносящие культуры — такие как томаты, баклажаны, огурец, кабачки, клубника и перец) и *средней* (капуста, цветная капуста, брокколи и кольраби) [16]. Установлено, что целесообразнее выращивать методом аквапоники культуры с коротким вегетационным периодом (45–60 дней) [6]. Среди них наиболее простой и рентабельной для выращивания в аквапонных установках является салат: его период вегетации составляет 10–15 дней, а выход продукции достигает 8 кг/м² [3].

Виды рыб, пригодные для выращивания в аквапонике, должны обладать способностью акклиматизироваться к теплой и холодной воде, выносить высокие плотности, адаптироваться к низкому качеству воды и переносить колебания ее параметров, а также быть устойчивыми к болезням. В целом, данные виды должны быть пригодными для выращивания в системах УЗВ. Основными среди них являются форель, лосось, карп обыкновенный, окунь, сом, треска, мраморный бычок, дорадо, морской окунь, кефаль и пангасиус, сардины [16]. Из всех видов тилапия (*Oreochromis sp.*) является наиболее распространенной и коммерчески успешной в мировом масштабе. Также очень популярен клариевый сом, так как он устойчив к высоким концентрациям в воде азота (аммиак — до 6,5 мг/л) и выдерживает сверхплотные посадки — до 300 кг/м³, а широкий спектр пищевой адаптации позволяет кормить его форелевыми и карповыми кормами [1].

В работах российских специалистов, как правило, приводятся системы на основе клариевого сома, причем с различной плотностью посадки (от 200 до 2000 особей на 1 м³ воды) и растений салата [3, 8, 14, 24]. В ростовском ФГБУН «ЮНЦ РАН» успешно опробовано выращи-



вание не только теплолюбивых видов рыб, как тилапия и сом, но и русского осетра, например в системе с культурой томата [6]. В аквапонной установке казахских специалистов выращивалась молодь клариевого сома (2 бассейна) и культура ремонтантной клубники [19].

В аквапоник-системе Швейцарского города Вадэнсвил применяется совместное выращивание окуня обыкновенного и томатов (2500 растений) [7]. На немецком предприятии ECF Farmsystems в аквапонной системе вкупе с тилапией (плотность посадки 120 кг/м³) выращивают многочисленные культуры. Так, в одной температурной секции выращивают огурцы, томаты, перец, баклажаны, во второй — салат и зелень, свеклу мангольд и фасоль [22]. Оригинальная аквапонная установка словенских специалистов включала мелкие рыбоводные пруды (объем 36 м³) для выращивания карпа с плотностью посадки 0,6 кг/м³ и томаты по системе плотовых плавучих систем [4].

Применение методов аквапоники в России, Беларуси и за рубежом. Как направление аквапоника возникла в 1975 г., а в настоящее время получила свое развитие в виде многочисленных ферм, на которых производится органическая продукция [25].

Само название «аквапоника» было предложено группой ученых из Университета Виргинских островов, которые в течение не одного десятилетия занимались проектированием и воплощением в реальность особой закрытой системы. Получившуюся систему в итоге и назвали «аквапоникой», поскольку в ней скомбинированы две прогрессивные технологии: «аквакультура», подразумевающая разведение рыбы в хорошо организованной системе, и «гидропоника», то есть метод выращивания растительной продукции не в почве, а в водной среде.

В странах Запада на сегодняшний день аквапоника распространена достаточно широко. Так, еще в 2005 г. в США насчитывалось 1105 фермерских хозяйств по производству продукции по технологии аквапоники [25]. Упоминаются подобные тепличные фермерские хозяйства и для Канады (г. Альберти) [9].

В целом разработкой аквапонных систем помимо вышеупомянутых занимаются практически все развитые страны: Австралия, Англия, Германия, Китай, Португалия, Испания, Япония [20]. Но признанными лидерами в данном направлении являются голландцы. Широко известен их проект EсоFutura по аквапонной технологии выращивания томатов в закрытом грунте в зимнее время с одновременным разведением карпа [25]. Также среди крупных производств можно упомянуть сель-



скохозяйственное предприятие ECF Farmsystems в г. Берлине, где в различных температурных секциях теплиц выращивают многочисленные овощные культуры, а резервуары для разведения тилапии занимают площадь свыше 2000 м² [22].

На Филиппинах метод аквапоники получил распространение в виде мини-установок в жилых помещениях местного населения, что дает возможность самообеспечения продукцией беднейших слоев населения [26].

Американские инженеры и биологи разработали фермы Aquaponics USA, которые позволяют любителям натуральных продуктов наслаждаться собственноручно выращенной рыбой и свежими овощами [27].

В России данное направление начало свое развитие с 1984 г. [20]. И хотя разработками в данной области науки занимаются многочисленные научные центры, промышленное выращивание рыбы и овощей в этой стране методом аквапоники в основном рентабельно только для южных регионов — Астраханской и Ростовской областей, Краснодарского края и др. [25]. Так, методы аквапоники апробированы и успешно применяются на базе осетровых хозяйств Краснодарского края [20] и в условиях базы «Кагальник» ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону) [3, 14].

В России для развития и поддержания направления простейшие аквапонные установки внедряются в образовательный процесс некоторых школ, например, система FishPlant, включающая в себя аквариум, фильтр, насосы, нагреватели, а также контейнеры для рыб и растений [28].

В Республике Беларусь аквапоник-система пока не применяется, исследования в этой области только начаты. При этом можно прогнозировать целесообразность их создания в дальнейшем и рентабельность работ в связи с невысокими расходами на оплату ручного труда работников, и, главное, мощно развитой сетью тепловых и электрических центральных станций, котельных и др. объектов энергетического комплекса [7]. Опытные аквапонные установки тестируются на базе аквариального комплекса Полесского государственного университета (г. Пинск), где сотрудники исследуют содержание азотистых соединений в тепловодных УЗВ при выращивании африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) [13, 23]. Аквапоник-система для выращивания овощной продукции, оснащенная многочисленными новейшими системами автоматизированного управления и регулирования, разрабаты-



вается в Белорусском государственном университете МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ (г. Минск) [20].

Рентабельность аквапонных систем. Разработанные системы аквапоники, как правило, показывают высокие результаты. Это обусловлено простотой их сборки и эксплуатации, малозатратностью (расход электроэнергии, воды и человеческих ресурсов) и эффективной работой [6]. Рост спроса на экологическую продукцию объясняет ее удорожание, поэтому, например, в Европейских странах томаты, выращенные методом аквапоники, стоят в 5 раз дороже, а трудозатраты выше всего в 2 раза [25].

Как правило, аквапонные установки демонстрируют хорошие показатели рентабельности. Растительная продукция оказывается более рентабельной, чем выращенная гидропонным способом, а рыбная — более рентабельной в сравнении с показателями установок УЗВ. Так, при выращивании в установке клариевого сома и укропа рентабельность производства сома составила 22,8 %, что на 1,4 % выше показателя рентабельности в работе УЗВ. Показатель рентабельности продукции укропа составил 116,9 %. В целом данная аквапонная установка в сравнении с чистой УЗВ была рентабельнее на 3,5 % [24]. По данным Даниловой А.А., латук посевной оказался на 8,9 % рентабельнее при выращивании в аквапонной системе, чем в гидропонной в условиях осетрового хозяйства Краснодарского края [20]. При совместном культивировании с русским осетром растения томата на 40-е сутки оказались на 160 % рентабельнее по сравнению с выращенными в гидропонике [6]. При совместном выращивании с клариевым сомом на базе «Кагальник» отмечался интенсивный рост салата: за 25 сут роста биомасса достигла 0,8–1,0 кг/м² [3]. Вообще же при выращивании методом аквапоники выход растительной продукции следующий: на 1 кг рыбы можно получить 18–19 кг овощей [20].

Для аквапонного технологического комплекса по выращиванию клариевого сома, разработанного российскими специалистами [29], приводятся следующие экономические показатели: стоимость его при размещении в существующем производственном помещении ориентировочно составляет 500 000–550 000 российских рублей (6868,0–7551,5 дол. США), себестоимость составляет 250 000–300 000 российских рублей (3432,5–4119,0 дол. США). Рентабельность проекта при его предложении на рынке — 83 %. Срок окупаемости проекта для производителей товарной рыбы и продуктов растениеводства составляет 4,5–5 лет.



По расчетам специалистов промышленной аквапонной фермы AQUAFARM в Украине для того, чтобы предприятие окупилось, минимальные масштабы производства должны быть от 10 т рыбы в год [30]. Кроме этого, принимая во внимание дороговизну электроэнергии, в аквапонике должны активно использоваться различные альтернативные источники энергии, которые органично вписываются в концепцию экологически чистого производства (солнечные коллекторы для подогрева воды) и экологичные материалы, (биопосуда и крафтовая бумага, подлежащие повторной переработке).

Ниже приводятся рыбоводно-биологические показатели некоторых видов рыб в разнообразных системах, при различных плотностях посадок и периодах культивирования:

Русский осетр и томаты: через 2 месяца абсолютный прирост массы рыбы (35 шт.) составил 14,85 г, среднесуточный прирост 0,50 г/сут (1,05 %), коэффициент массонакопления — 0,12 ед., коэффициент упитанности по Фульгону 0,34 ед. [6].

Клариевый сом и укроп: через 50 сут прирост массы сома составил 456 г (на 1,1 % больше чем в системе УЗВ) [24].

Клариевый сом и салат: через 45 сут прирост массы рыбы — 57,8 г (контроль — 48,25 г), среднесуточный прирост — 1,28 г (контроль — 1,07 г), выживаемость — 95 % (90 % контроль) [3].

Клариевый сом и садовая земляника: через 15 дней прирост массы рыбы составил 4326 г при первоначальной биомассе 34200 г (против 2772 при его выращивании в УЗВ), а средняя масса особи 103 г (против 66 г соответственно) [23].

Клариевый сом и клубника ремонтантная (2 месяца): прирост массы сома 328,5 г, выживаемость 98,4 %, кормовой коэффициент 1,4 единицы, рыбопродуктивность — 56,73 кг/м³ [19].

Результаты выращивания в аквапонике тилапии и клариевого сома в казахстанских рыбоводных хозяйствах. Рыбоводно-биологические показатели тилапии (период выращивания около 100 дней): абсолютный прирост 192 г, среднесуточный — 1,57 г, относительный прирост 123 %, кормовой коэффициент 1–1,5 единицы. Рыбоводно-биологические показатели клариевого сома: абсолютный прирост 98 г, среднесуточный — 0,88 г, относительный прирост 155 %, кормовой коэффициент 1,5–1,7 единицы [10].

Карп и салат: за 52 дня абсолютный прирост рыбы составил 181 кг (нач. масса 648 кг), плотность начальная 43,8 кг/м³, конечная — 56,0 кг/м³ [21].



Карп и томаты (4 месяца): прирост биомассы рыбы — 26,4 кг (в аналогичном пруду, не образующем аквапонной системы — 19,4 кг), прирост массы тела составил 134,6 % (против 98,6 % соответственно), среднесуточный прирост 0,23 % в день (против 0,19 %), смертность 0 % (против 2,18 %) [4].

Трудности и недостатки аквапонных систем. При всех положительных сторонах использования аквапоники, недостатки данной технологии включают высокие первоначальные инвестиции, требуемый высокий уровень образования сотрудников, «чувствительность» систем и некоторые другие.

Промышленное выращивание рыбы и овощей требует высоких стартовых затрат, так как необходимо построить теплицы и в них размещать водоемы. Кроме того, система требует источника энергии для работы насосов. Также серьезным ограничением развития аквапоники даже в умеренном климате являются высокие затраты на поддержание необходимой температуры. Одна из трудностей использования аквапоники — это необходимость обеспечения сельскохозяйственных культур оптимальным количеством солей в растворе (электропроводности 3,5 мСм/л) для того, чтобы можно было гарантировать высококачественный урожай овощей с середины зимы. Необходимо отметить, что цены на продукты питания, которые в итоге получаются, превышают обычные более чем в два раза. Несмотря на указанные минусы, практика использования исследуемой технологии в странах ЕС показывает, что она более экономически эффективна, чем традиционные методы ведения сельского хозяйства. Спрос на экологически чистые продукты постоянно возрастает. Так, в странах Евросоюза томаты, выращенные по технологии аквапоники, содержат нитратов в десять раз меньше, чем в закрытом грунте, и стоят в пять раз дороже. При этом затраты увеличиваются всего в два раза. Учитывая все вышеизложенное, требуются тщательные подходы, расчеты и исследования для освоения технологии аквапоники в Беларуси.

Выводы. Аквакультура является наиболее устойчивой системой для производства пищи (белка) животного происхождения, дальнейшее увеличение её устойчивости может достигаться посредством системы аквапоники. Её преимуществами являются высокая производительность, снижение потребностей в воде, рациональная переработка отходов, снижение заболеваемости растений и использования пестицидов, модульность системы, позволяющая применять систему в разных вариантах.



В аквапонных технологиях можно установить характерное лишь для природы равновесие, при этом аквапонные фермы являются эффективными с точки зрения затрат на производство продукции и объемов урожая и вполне могут соперничать с традиционными сельскохозяйственными объектами, делающими ставку на проверенные технологии, традиционные конструкции и обычные удобрения.

В условиях нехватки водных ресурсов, быстрого развития аквакультуры и деградации земель аквапоника становится перспективным направлением сельскохозяйственного производства.

В республике Беларусь технология аквапоники только набирает обороты. Лабораторные аквапонные установки тестируются на базе аквариального комплекса Полесского государственного университета (г. Пинск), аквапоник-система для выращивания овощной продукции, оснащенная многочисленными новейшими системами автоматизированного управления и регулирования, разрабатывается в Белорусском государственном университете МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ (г. Минск). Научный интерес представляет изучение интегрированных систем, направленное увеличение числа трофических уровней, сокращение водопотребления, повышение рыбопродуктивности, сокращение себестоимости рыбной продукции, изменение пространственной конфигурации рыбоводных систем.

При этом требуются тщательные подходы, расчеты и исследования для успешного освоения технологии аквапоники в Беларуси.

Список использованных источников

1. Tidwell, J.H. Aquaculture Production Systems / J.H. Tidwell; Frankfort, Kentucky, USA : John Wiley & Sons, 2012 — 421 p.
2. Tyson, R.C. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems / R.C. Tyson, D.D. Treadwell, E.H. Simonne // *HorTechnology*. — 2011. — vol. 21. — P. 6–13.
3. Григорьев, В.А. Опыт совместного выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) и салата (*Latuca sativa* L.) методом аквапоники / В.А. Григорьев [и др.] // *Естественные науки*. — №4 (53). — 2015. — С. 96–101.
4. Tjaša Griessler Bulc. Akvaponika — orodje za sonaravno ribogojstvo / Tjaša Griessler Bulc, Aleksandra Krivograd Klemenčič // *Nferenca VIVUS — s področja naravovarstva, kmetijstva, horticulture in hivilstva* «Znanije in izkušnje za nove podjetniške prilofnosti, 24–25 april 2013. — Biotejniški center Naklo, Strahinji, 99 Naklo, Slovenija». — 2013. — P. 439–452.



5. Воронина, М.В. Использование методов гидропоники в сельском хозяйстве / М.В. Воронина // С. Научное обеспечение агропром комплекса. Сб. статей по материалам XII всероссийской конференции молодых ученых. Краснодар. — 2019. — С. 219–220.
6. Гридина, Т.С. Инновационная биотехнология выращивания объектов аквакультуры и сельскохозяйственных растений с применением биопрепарата в искусственно сформированной системе этажного типа / Т.С. Гридина, У. С. Александрова, А.А. Кузов // Сб. Аквакультура осетровых рыб: проблемы и перспективы. Сб. статей Межд. научно-практ. конф. — 2017. — С. 74–77.
7. Николайчик, И.А. Аквапоник-системы как способ производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции по безотходным технологиям / И.А. Николайчик, Ю.Н. Заблочкин // Ученые записки УО ВГАВМ. — 2009. — Т. 45. — Вып. 2. — Ч. 2. — С. 155–159.
8. Ковригин, А.В. Автоматизированная технология производства экологически чистой продукции растениеводства и аквакультуры в контролируемых условиях помещений / А.В. Ковригин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. — 2016. — № 4 (12). — С. 124–129.
9. Юрьева, Е.В. Гидропоника и аквапоника — как современные методы выращивания растений и рыбы / Е.В. Юрьева // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: материалы национальной научно-практической конференции. — Саратов, 4-5 окт. — 2016 — С. 146–150.
10. Сыздыков, К.Н. Рыбоводные показатели при выращивании рыб в аквапонике / К.Н. Сыздыков [и др.] // БЫЛЫМ ЖАРШЫСЫ. — 2017. — С. 53.
11. McMurtry, M.R. Effects of Biofilter / McMurtry M.R., Sanders D.C., Cure J.D., Hodson R.G. // Culture Tank Volume Ratios on Productivity of a Recirculating Fish / Vegetable CoCulture System, Journal of Applied Aquaculture. — 7:4. — 1997. — P. 33–51.
12. Khakyzadeh, V. Waste to wealth: a sustainable aquaponic system based on residual nitrogen photoconversion / Khakyzadeh, V. // Royal Society of Chemistry, — 2015. — vol. 5. — P. 3917–3921.
13. Козырь, А.В. Влияние аквапонного модуля на содержание азотистых соединений в тепловодных установках замкнутого водоснабжения при выращивании клариевого сома (*Clarias gariepinus*) / Козырь А.В., Цвирко Л.С. Весник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. — 2019. — № 1. — С. 87–94.
14. Помазунова, Т.Н. Аквапоника как устойчивая система производства продуктов питания / Помазунова Т.Н., Кузов А.А., Маркина И.А. // В сборнике: Исследования молодых ученых — вклад в инновационное развитие России доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.»). составитель М.В. Лозовская. — 2014. — С. 257–258.



15. Sahdev, Singh. A computer simulation model for wastewater management in an integrated (fish production-hydroponics) system / Doctor of philosophy in biological systems engineering // Blacksburg, Virginia. — 1996. — 150 p.
16. Kamareddine, L.A. Lifecycle assessment of aquaponics / Kamareddine, L.A., & Maraqa, M.A. // Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering. — 2021. — P. 1083–1108.
17. Alessio, G. Acquacoltura responsabile — Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio Roma: Unimar-Uniprom // Alessio, G., Allegrucci, G., Angle, G. — Advertising and Communication - Roma. — 2001. — 688 p.
18. Lennard, W.A. Aquaponic integration of Murray Cod (*Maccullochella peelii peilii*) aquaculture and lettuce (*Lactuca sativa*) hydroponics / W.A. Lennard, Ph.D dissertation, School of Applied Sciences, Department of Biotechnology and Environmental Biology, Royal Melbourne Institute of Technology. Melbourne, Victoria Australia. — 2006. — 50 С.
19. Омиржанова, Н.М. Совместное выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) и клубники ремонтантной в тепличной аквапонной установке / Н.М. Омиржанова, К.Ш. Нургазы, Т.Т. Баракбаев. // Сб. трудов: Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. — № 34. — 2018. — С. 115–122.
20. Довлатов И.М. Возможность производства экологически чистой продукции растениеводства и аквакультуры в контролируемых условиях среды / Довлатов И.М., Смирнов А.А., Прошкин Ю.А. // Инновации в сельском хозяйстве. — 2020. — № 1 (34). — С. 80–86.
21. Jaeger, C. Mass balanced based LCA of a common carp-lettuce aquaponics system / Christophe Jaeger [et al.] // Aquacultural engineering. — 84(2019). — P. 29–41.
22. Престеле, К. Ферма в городе / Новое сельское хозяйство. — 2016. — № 4. — С. 44–45.
23. Козырь, А.В. Влияние аквапонного NFT-модуля на темпы массонакопления клариевого сома (*Clarias gariepinus* B., 1868) / А.В. Козырь, Л.С. Цвирко // Биотехнология. Достижения и перспективы развития: сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. — 2018. — С. 57–59.
24. Ковригин, А.В. Изучение эффективности эксплуатации автоматизированной аквапонной установки в зависимости от режимов ее работы / А.В. Ковригин, А.П. Хохлова, Н.А. Маслова // Вестник КрасГАУ. — 2015. — №11(10). — С. 90–96.
25. Викулова, В.С. Аквапоника — как новое развитие агропродовольственного комплекса / В.С. Викулова // Сб. Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. — 2015. — № 1 — С. 50–52.
26. Лапина, О.В. Аквапоника как инновационный способ развития прудового рыбоводства / О.В. Лапина // Научные достижения: теория, методология, практика. Сб. науч трудов по материалам IX Междунар науч-практ конф. Анапа, 28 июня 2019. — Анапа, ООО «НИЦ ЭСП» в ЮФО (НИЦ «ИННОВА»). — 2019. — С. 5–9.
27. Сборник информационных материалов по теме: Аквапоника — технология сельского хозяйства будущего / Отв. за выпуск: Ю. Щербинин, А Антоненко. — Белгород. — 2015. — 46 с.



28. Букреева, Т.Н. Об опыте организации исследовательской работы с использованием элементов технологии парного обучения на базе аквапонной системы FishPlant / Букреева Т.Н., Нурғалиева Л.Б. // Сб. Современные образовательные технологии в системе образования. Мат. II Международной науч-практ конф. — 2017. — С. 9–12.
29. Ковригин, А.В. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Разработка проекта индустриальной технологии производства продуктов аквакультуры» / А.В. Ковригин. — Белгород. — 2016. — 80 с.
30. <https://www.propozitsiya.com/promyshlennaya-akvapponika-prishla-v-ukrainu>. Дата доступа: 21.07.2021.

Reference

1. Tidwell J. H. Aquaculture Production Systems, Frankfort, Kentucky, USA: John Willey& Sons, 2012, 421 p.
2. Tyson R.C., Treadwell D.D., Simonne E.H. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems, 2011, vol. 21, pp. 6–13.
3. Grigor'ev V.A. Experience of joint cultivation of clarius catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) by aquaponics. *Estestvennye nauki* [Natural Sciences], 2015, no. 4 (53), pp. 96–101 (in Russian).
4. Tjaša Griessler Bulc, Aleksandra Krivograd Klemenčič Akvapponika — orodje za sonaravno ribogojstvo, Nferenca VIVUS — s področja naravovarstva, kmetijstva, horticulture in živilstva «Znanije in izkušnje za nove podjetniške priložnosti, 24-25 april 2013, Biotejniški center Naklo, Strahinj, 99 Naklo, Slovenija», 2013, pp. 439–452.
5. Voronina M.V. Using of hydroponic techniques in agriculture. Nauchno obespechenie agroprom kompleksa. Sb. statej po materialam XII vsrossijskoj konferencii molodyh uchenyh, g. Krasnodar, 2019 g. [Scientific support of the agro-industrial complex: Collection of articles, based on the materials of the XII Russian Conference of Young Scientists, Krasnodar, 2019]. Krasnodar, 2019, pp. 219–220 (in Russian).
6. Gridina T.S., Aleksandrova U.S., Kuzov A.A. Innovative biotechnology for growing aquaculture and agricultural plants using a biological product in artificially formed storey type system. Sb. Akvakul'tura osetrovyyh ryb: problemy i perspektivy. Sb. statej Mezhd. nauchno-prakt. konf. g. Astrahan', 2017 g. [Sturgeon aquaculture: problems and prospects. Sat. articles Int. scientific and practical. conf., Astrakhan, 2017], Astrakhan, 2017, pp. 74–77 (in Russian).
7. Nikolajchik I.A., Zablockij Ju.N. Aquaponic systems as a method for the production of environmentally friendly agricultural products using waste-free technologies. *Uchenye zapiski UO VGAVM* [Scientific notes of UO VGAVM], 2009, vol. 45, issue 2, pp. 155–159 (in Russian).
8. Kovrigin A.V. Automated technology for the production of environmentally friendly crop and aquaculture products under controlled indoor conditions.



Innovacii v APK: problemy i perspekti [Innovation in the agro-industrial complex: challenges and prospects], 2016, no. 4 (12), pp. 124–129 (in Russian).

9. Jur'eva E.V. Hydroponics and aquaponics – as modern methods of growing plants and fish. Sostojanie i puti razvitiya akvakul'tury v Rossijskoj Federacii v svete importozameshhenija i obespechenija prodovol'stvennoj bezopasnosti strany. Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoi konferencii, g. Saratov, 4-5 okt. 2016 g. [The state and ways of developing aquaculture in the Russian Federation in the light of import substitution and ensuring the country's food security. Materials from of national scientific and practical conference, Saratov]. Saratov, 4-5 Oct. 2016, pp. 146–150 (in Russian).
10. Syzdykov K.N., Kurzhykaev, Zh.K., Narbaev, S.N., Kuanchaleev, Zh.B., & Marlenov, Je. B. Fish-breeding indicators in aquaponics. *Vestnik nauki* [Bulletin of science], 2017, no. 3 (94), pp. 53 (in Russian).
11. McMurtry M.R., Sanders D.C., Cure J.D., Hodson R.G. Effects of Biofilter. Culture Tank Volume Ratios on Productivity of a Recirculating Fish. Vegetable CoCulture System, *Journal of Applied Aquaculture*, 7:4, 1997, pp. 33–51.
12. Khakyzadeh V. Waste to wealth: a sustainable aquaponic system based on residual nitrogen photoconversion. Royal Society of Chemistry, 2015, vol. 5, pp. 3917–3921.
13. Kozyr' A.V., Cvirko, L.S. Influence of the aquapone module on the content of nitrogenous compounds in heat-water plants of closed water supply when growing clarium catfish (*Clarias gariepinus*). *Vestnik Poleskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polesky State University], 2019, no. 1, pp. 87–94 (in Russian).
14. Pomazunova T.N., Kuzov, A.A., Markina, I.A. Aquaponics as a sustainable food production system. *Sbornik statej: Issledovanija molodyh uchenyh — vklad v innovacionnoe razvitie Rossii doklady molodyh uchenyh v ramkah programmy «Uchastnik molodezhnogo nauchno-innovacionnogo konkursa» («U.M.N.I.K.»)*, g. Astrahan', 2-4 okt. 2016 g. [Collection of articles: Research of young scientists - a contribution to the innovative development of Russia reports of young scientists within the framework of the program «Participant in the Youth Scientific and Innovative Competition» («U.M.N.I.K.»), Astrakhan]. Astrakhan, 2-4 okt. 2016, pp. 257–258 (in Russian).
15. Sahdev Singh. A computer simulation model for wastewater management in an integrated (fish production-hydroponics) system. Blacksburg, Virginia, 1996, 150 p.
16. Kamareddine L.A, Maraqa, M.A. Lifecycle assessment of aquaponics. *Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering*, 2021, pp. 1083–1108.
17. Alessio G. Allegrucci, G., Angle, G. Acquacoltura responsabile — Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio Roma: Unimar-Uniprom, Advertising and Communication - Roma, 2001, 688 p.
18. Lennard W.A. Aquaponic integration of Murray Cod (*Maccullochella peelii peelii*) aquaculture and lettuce (*Lactuca sativa*) hydroponics. Ph.D dissertation, School of Applied Sciences, Department of Biotechnology and Environmental



- Biology, Royal Melbourne Institute of Technology. Melbourne, Victoria Australia, 2006, 50 p.
19. Omirzhanova N.M., Nurgazy, K.Sh., Barakbaev, T.T. Co-cultivation of clarium catfish (*Clarias gariepinus*) and strawberries repaired in a greenhouse aquapone plant. *Sb. trudov: Voprosy rybnogo hozjajstva Belarusi* [Collection of works: Issues of fisheries in Belarus], 2018, no. 34, pp. 115–122 (in Russian).
 20. Dovlatov I.M., Smirnov, A.A., Proshkin, Ju.A. Ability to produce environmentally friendly crop and aquaculture products under controlled environmental conditions. *Innovacii v sel'skom hozjajstve* [Innovation in agriculture], 2020, no. 1 (34), pp. 80–86 (in Russian).
 21. Jaeger C. Mass balanced based LCA of a common carp-lettuce aquaponics system. *Aquacultural engineering*, 84(2019), pp. 29–41.
 22. Prestele K. Farm in the city. *Novoe sel'skoe hozjajstvo* [New agriculture], 2016, no. 4, pp. 44–45 (in Russian).
 23. Kozyr' A.V. Cvirko, L.S. Effect of the aquaponic NFT module on the mass accumulation rate of clarium catfish (*Clarias gariepinus* B., 1868). *Biotehnologija. Dostizhenija i perspektivy razvitija. Sb. mater. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Pinsk, 22-23 nojabrja 2018 g.* [Biotechnology. Achievements and prospects for development. Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference, Pinsk], Pinsk, 22-23 november 2018, pp. 57–59 (in Russian).
 24. Kovrigin A.V., Hohlova, A.P., Maslova, N.A. Study of operation efficiency of the automated aquapone plant depending on its operation modes. *Vestnik KrasGAU* [Krasnodar State Agrarian University], 2015, no. 11(10), pp. 90–96 (in Russian).
 25. Vikulova V.S. Aquaponics — as a new development of the agri-food complex. *Zakonomernosti razvitija regional'nyh agropordovol'stvennyh system* [Patterns of development of regional agri-food systems], 2015, no. 1, pp. 50–52 (in Russian).
 26. Lapina O.V. Aquaponics as an innovative way to develop pond fish farming. *Nauchnye dostizhenija: teorija, metodologija, praktika. Sb. nauch trudov po materialam IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Anapa, 28 ijunja 2019 g.* [Scientific achievements: theory, methodology, practice. Collection of scientific works on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference, Anapa]. Anapa, June 28, 2019, pp. 5–9 (in Russian).
 27. Shherbinin Ju. Antonenko, A. *Collection of information materials on the topic: Aquaponics - agricultural technology of the future.* Belgorod, Department agro-industrial complex of Belgorod region; OGAU «Agro-Industrial Complex Innovation and Consulting Center», 2015, 46 p. (in Russian).
 28. Bukreeva T.N., Nurgaliev L.B. On the experience of organizing research work using elements of paired learning technology based on the aquapone system FishPlant. *Sovremennye obrazovatel'nye tehnologii v sisteme obrazovanija. Materialy II Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf., 2017 g.* [Modern educational technologies in the education system. Materials. II International Scientific and Practical Conference]. 2017, pp. 9–12 (in Russian).
 29. Kovrigin A.V. *Report on research work on the topic «Development of an industrial technology project for the production of aquaculture products».* Belgorod, Federal



State Budgetary Educational Institution higher education «Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin», 2016, 80 p. (in Russian).

30. <https://www.propozitsiya.com/promyshlennaya-akvapionika-prishla-v-ukrainu>.
Data dostupa: 21.07.2021.

Сведения об авторах

Таврыкина Оксана Михайловна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая лабораторией гидробиологии и гидрохимии, РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tavrykina@mail.ru

Литвинова Анастасия Геннадьевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидробиологии и гидрохимии, РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: nastya_litvinova_1986@mail.ru

Information about authors

Tavrykina Oksana — Ph.D. (Agricultural Sciences), assistant professor, Head of Lab. Hidrobiology and Hydrochemistry, RUE «Fish Industry Institute» of the RUE «Scientific and Practical Center of Belarus National Academy of Sciences for Animal Husbandry» (220024, Minsk, st. Stebenev, 22, Republic of Belarus). E-mail: tavrykina@mail.ru

Litvinava Anastasiya — Ph.D. (Biology), Leading Researcher of Lab. Hidrobiology and Hydrochemistry, RUE «Fish Industry Institute» of the RUE «Scientific and Practical Center of Belarus National Academy of Sciences for Animal Husbandry» (220024, Minsk, st. Stebenev, 22, Republic of Belarus). E-mail: nastya_litvinova_1986@mail.ru