



Влияние аквапонической системы на гидрохимический состав воды

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-5-109-115>
EDN: WXZNGE

Научная статья
УДК 639.331.5:631.811.91

Махонина Василиса Андреевна – специалист лаборатории разведения объектов аквакультуры, Россия, Московская область, Ногинский район, посёлок имени Воровского
E-mail: vasilisa-0024@mail.ru

Якимова Полина Сергеевна – лаборант лаборатории разведения объектов аквакультуры, Россия, Московская область, Ногинский район, посёлок имени Воровского
E-mail: Yak_i_Mova@mail.ru

Мамонова Анастасия Сергеевна – заведующая лабораторией, старший научный сотрудник лаборатории разведения объектов аквакультуры, Россия, Московская область, Ногинский район, посёлок имени Воровского
E-mail: mamonova84@gmail.com

Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

Адрес: Россия, 142460, Московская область, Ногинский район, посёлок имени Воровского, ул. Сергеева, д. 24

Рисунок 2. Установка плавучей грядки / **Figure 2.** Installing a floating garden

Аннотация. В условиях растущего дефицита водных и земельных ресурсов, технологии аквапоники представляют собой перспективную альтернативу для высокопродуктивного производства пищевой продукции. За счёт использования питательных отходов аквакультуры гидропоника получает органическое удобрение, что исключает применение (синтетических) питательных веществ и кондиционеров-нейтрализаторов для очистки воды. Одной из важнейших задач для производителей является оптимизация использования водных ресурсов. В данном исследовании показано влияние аквапониической системы на содержание в воде продуктов метаболизма гидробионтов – фосфатов, нитритов, нитратов. Также был проведён сравнительный анализ роста и среднесуточного прироста микрозелени с контрольными растениями.

Ключевые слова: аквапоника, загрязнение воды, водоподготовка, гидрохимические показатели, интегрированные системы

Для цитирования: Махонина В.А., Якимова П.С., Мамонова А.С. Влияние аквапониической системы на гидрохимический состав воды // Рыбное хозяйство. 2025. № 5. С. 109-115.
<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-5-109-115>

THE EFFECT OF THE AQUAPONIC SYSTEM ON THE HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF WATER

Vasilisa A. Makhonina – specialist Laboratory of breeding of aquaculture facilities, Russia, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy settlement

Polina S. Yakimova – laboratory assistant Laboratory of breeding of aquaculture facilities, Russia, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy settlement

Anastasia S. Mamonova – head of the Laboratory, Senior Researcher Laboratory of breeding of aquaculture facilities, Russia, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy settlement

All-Russian Scientific Research Institute of Integrated Fish Farming, a branch of the Federal State Budgetary Institution Federal Research Center of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst

Address: Russia, 142460, Moscow region, Noginsky district, village named after Vorovsky, Sergeeva Str., 24

Annotation. In the context of the growing shortage of water and land resources, aquaponics technologies represent a promising alternative for highly productive food production. Through the use of nutrient waste from aquaculture, hydroponics receives organic fertilizer, which eliminates the use of (synthetic) nutrients and neutralizer conditioners for water purification. One of the most important tasks for producers is to optimize the use of water resources. This study shows the effect of the aquaponic system on the content of hydrobiont metabolism products in water – phosphates, nitrites, and nitrates. A comparative analysis of the growth and average daily growth of micro-greens with control plants was also carried out.

Keywords: aquaponics, water pollution, water treatment, hydrochemical indicators, integrated systems

For citation: Makhonina V. A., Yakimova P.S., Mamonova A.S. (2025). The effect of the aquaponic system on the hydrochemical composition of water // Fisheries. No. 5. Pp. 109-115.
<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-5-109-115>

Рисунки – авторские / The drawings was made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Аквапоника – это технология, включающая совместное выращивание растений и рыб. Данная ресурсосберегающая замкнутая

система производства продуктов питания имеет преимущества как перед аквакультурой, так и перед гидропоникой. Благодаря ей при производстве продукции отсутству-

ет необходимость в использовании химических удобрений, снижается количество сельскохозяйственных стоков и происходит естественная очистка воды за счёт использования фитофильтров, роль которых выполняют культурные растения [5]. В системах аквапоники биологические отходы, выделяемые рыбой, и отходы, образующиеся в результате разложения корма, поглощаются растениями в качестве питательных веществ для роста. Данный метод позволяет растениям удалять нежелательные отходы питательных веществ из воды и повторно использовать воду для содержания рыбы [4]. Таким образом, аквапоника считается экономичной системой, в которой растения и водные организмы образуют искусственную экосистему и дополняют друг друга, что выгодно производителям. Одной из лучших особенностей данной системы является экономия воды и продление её срока службы, что снижает уровень загрязнения [3].

По данным на 2024 г., объём мирового рынка систем аквапоники оценивался в 1,5 млрд долл. США. Ожидается, что к 2033 г. этот показатель достигнет 4,8 млрд долл. США [7]. По состоянию на тот же год, доходы рынка гидропонных крытых ферм были оценены в 5,23 млрд долл. США [8].

Аквапоника имеет ряд достоинств по сравнению с традиционным сельским хозяйством:

- не используются химические удобрения, пестициды или гербициды [6]. Исследования показывают, что можно в десять раз увеличить производство без использования вредных химикатов или пестицидов, при этом расходуя всего от двух до десяти процентов воды, используемой при традиционных методах ведения сельского хозяйства [2];
- круглогодичное производство со стабильной продуктивностью. Гидропоника дает на 20-25% выше урожайность [9], в присутствии гидробионтов данные показатели увеличиваются в несколько раз;
- исключает трудности земледелия [1].

Потенциальные преимущества интегрированного производства включают увеличение прибыли за счёт продажи рыбы и растений, минимизацию зависимости от синтетических удобрений, а также – независимое от местоположения и сезона производство белка и овощей в «пустынях» [3].

Использование современных технологий выращивания откроет новые возможности для рынка сельскохозяйственных культур. Аквапоника является одним из наиболее перспективных решений в данном направлении.



Рисунок 1. Схема опыта

Figure 1. The scheme of the experience

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель – оптимизировать использование водных ресурсов для интегрированного выращивания гидробионтов и гидропонных культур.

Задачи поставлены следующие:

1. Изучить влияние аквапонической системы на содержание фосфатов, нитритов и нитратов в воде для выращивания рыбы.
2. Сравнить показатели роста опытных растений с контролем.
3. Отследить показатели среднесуточного прироста микроразелени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент проводился на базе аквариальной Всероссийского научно-исследовательского института интегрированного рыбоводства – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста». Институт проводит фундаментальные, поисковые и прикладные научные исследования в области рыбоводства с элементами интегрированных технологий,

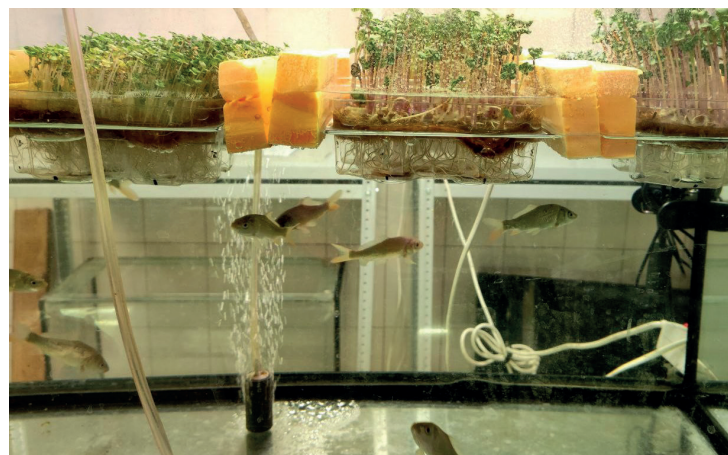


Рисунок 3. Плавучие грядки в опытном аквариуме

Figure 3. Floating beds in an experimental aquarium



Рисунок 4. Урожай микрозелени
Figure 4. Harvest of microgreens

разведения и воспроизводства объектов аквакультуры, генетики и селекции гидробионтов. Опыт был проведён в двух повторностях. Для исследования были сформированы по 2 группы (n=9) сеголеток карпа (*Cyprinus carpio*) породы чувашский чешуйчатый. В опытах I и II средняя ихтиомасса была равна 7,6 грамма; в контролях I и II – 7,7 грамма.

Объём каждого аквариума составлял 80 л, система аэрации и фильтрации была идентична. Уровень воды корректировался для ком-

пенсации потерь на испарение и взятие проб. Над каждым аквариумом было установлено по 1 фитолампе мощностью 40 Вт (12 ч в сутки) и по 1 люминесцентной лампе мощностью 18 Вт (круглосуточно). Температурный режим был стабильным 22,1-22,2 °С. Схема опыта представлена на рисунке 1.

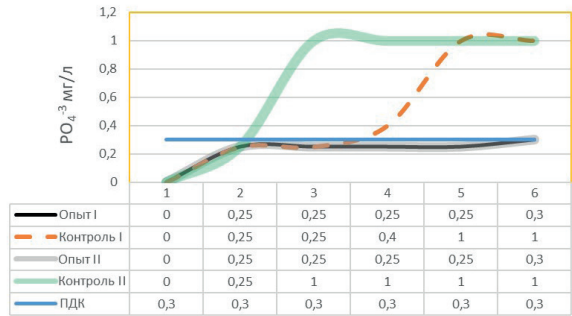


Рисунок 5. Динамика концентрации фосфатов
Figure 5. Dynamics of phosphate concentration

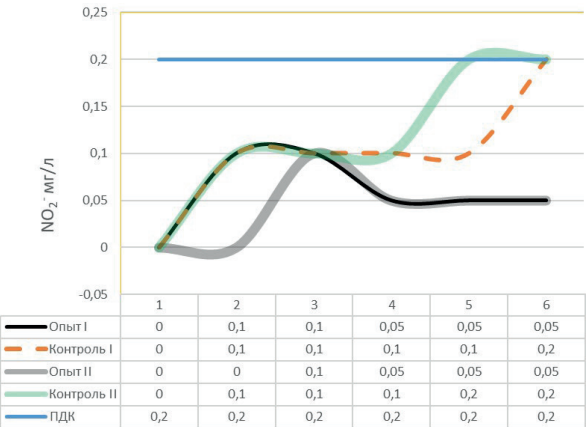


Рисунок 6. Динамика концентрации нитритов
Figure 6. Dynamics of nitrite concentration

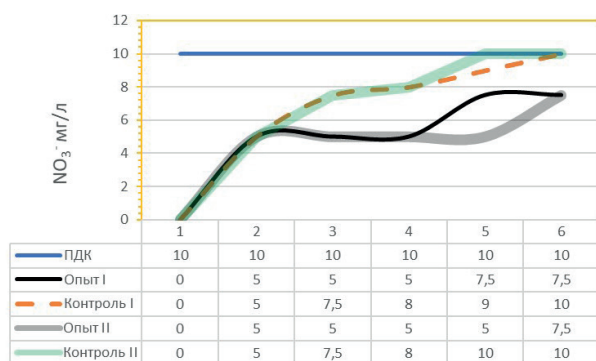


Рисунок 7. Динамика концентрации нитратов
Figure 7. Dynamics of nitrate concentration

Предварительно были пророщены необработанные семена растений из набора для выращивания микрозелени «Сеем семена» до появления корневой системы, которая достигла необходимого размера за три дня. Видовой состав растений выбран следующий: редис (*Raphanus sativus*); кресс-салат (*Lepidium sativum*); салат руккола (*Eruca sativa*); горчица (*Sinapis alba*); капуста кольраби (*Brassica oleracea* L. var. *gongylodes* L.). Навеска семян по $2 \pm 0,2$ г на грядку (1 лоток), заявленная всхожесть 95%.

В аквариумы с опытами I и II были установлены по 6 плавучих лотков с растениями таким образом, чтобы корни находились в воде. Водобмен внутри лотков осуществлялся постоянно за счёт отверстий, проделанных в пластике, и течения, создаваемого фильтром.

Ежедневно растения опрыскивали аквариумной водой. В каждом лотке содержалась монокультура – редис, представленный двумя грядками в каждой группе. Для контроля микрозелени использовалась водопроводная вода, культуры для контроля были выбраны следующие: редис, руккола, кресс-салат.

Для исследования каждые 3 дня осуществлялся отбор проб воды. Гидрохимические показатели определяли стандартным набором химических реактивов. Учитывали концентрацию фосфатов (PO_4^{3-}), нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-). Полученные значения сравнивали со значениями ПДК. Методом репрезентативной выборки ежедневно избирали по 10 штук растений для контроля высоты стебля.

Длительность эксперимента составила 16 дней. Для статистической обработки данных использовались программы Microsoft Excel и Microsoft Word.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За две недели эксперимента в опыте I и опыте II не было отмечено превышение ПДК фосфатов. Контроль I и контроль II показали превышение ПДК уже на 4 и 3 измерение соответственно (10 и 7 день с установки плавучих грядок). Превышение ПДК к концу эксперимента в контроле I и контроле II составило 0,7 мг/л. Содержание фосфатов в контроле I и II на 70% больше показателей опытов I и II.

Концентрация нитритов за время эксперимента не превысила ПДК ни в одной из групп. При этом, на 7 день (3 измерение) в опытах I и II и контролях I и II показатель был равен 0,1 мг/л. Затем была отмечена тенденция к снижению содержания нитритов в опытах I и II до 0,05 мг/л, в то время как в контролях I и II данный показатель достиг 0,2 мг/л, что на 75% больше показателей опытов.

Содержание нитратов также не превысило ПДК за время эксперимента. Однако концентрация нитратов в опытах I и II в конце эксперимента была на 2,5 мг/л ниже, чем в контролях. Разница составила 25%.

Анализ линейного роста микрозелени указывает на то, что в опытах I и II растения росли

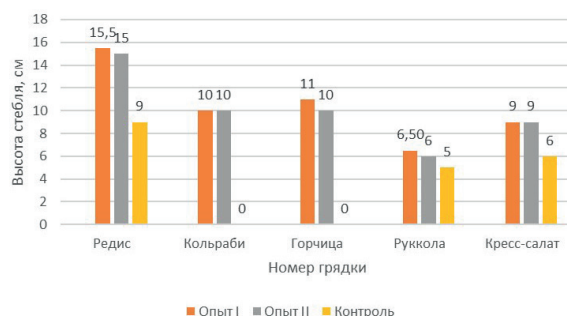


Рисунок 8. Высота растений в конце эксперимента

Figure 8. Height of plants at the end of the experiment

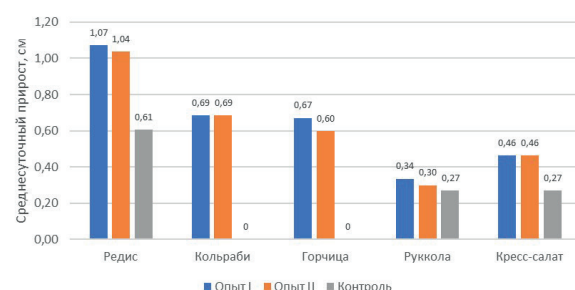


Рисунок 9. Среднесуточный прирост растений, см

Figure 9. Average daily plant growth, cm

примерно одинаково, при этом контроль микрозелени, выросший на водопроводной воде, отставал в росте. Разница между средними показателями опытов и контролем составила: для редиса – 40,98%; для рукколы – 20%; для кресс-салата – 33,3%.

Среднесуточный прирост в опыте I и II находился примерно на одном уровне. Контроль имел более низкие значения. Разница между средними показателями опытов и контролем составила: для редиса – 61,64%; для рукколы – 15,62%; для кресс-салата – 41,30%.

Проведённое исследование показало, что использование плавучих грядок для выращивания микрозелени в аквариуме оказывает положительное влияние как на рост растений, так и на гидрохимические параметры воды. Корневая система растений эффективно поглощает питательные вещества из воды, что способствует их активному развитию и дополнительно уменьшает риск цветения воды. Система работает как естественный биофильтр, создавая более благоприятные условия для рыб. Метод плавучих грядок позволяет совмещать аквакультуру и растениеводство, что делает его перспективным для домашнего и коммерческого использования. Данная технология проста в реализации и экологична с точки зрения очистки и экономии водных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Полученные данные демонстрируют высокую эффективность аквапонной системы как замкнутого цикла переработки метаболитов с применением фиторемедиации. Корневая система микрозелени выступает высокоэффективным биофильтром. Наиболее значительная утилизация нитритов (NO_2^-) на 75% является ключевым показателем, так как нитриты высокотоксичны для рыб даже в малых концентрациях. Это доказывает, что растения создают благоприятную среду для нитрифицирующих бактерий. Снижение фосфатов (PO_4^{3-}) на 70% свидетельствует об активном потреблении фосфора, который является макроэлементом для развития корневой системы и энергетического обмена растений. Нитраты являются основной доступной формой азота, потребляемой растениями, и система успешно поддерживает их баланс, предотвращая накопление, о чём свидетельствует утилизация нитратов (NO_3^-) на 25%.
2. Результаты подтверждают преимущество органического питания в аквапонной системе. Разница в приросте между культурами

(редис +40,98% по сравнению с контролем, кресс-салат +33,3%, руккола +20%) указывает на видовую специфичность отклика на питание. Редис и кресс-салат, известные своей скороспелостью и высоким потреблением азота, показали наибольшую эффективность в усвоении питательных веществ из аквапонного раствора. Руккола, возможно, предъявляет иные требования к соотношению элементов или имеет более медленные темпы начального роста.

3. Установка плавучих грядок в рыбоводные ёмкости позволяет увеличить среднесуточный прирост растений: редиса – на 61,64%; рукколы – на 15,62%; кресс-салата – на 41,30%. Это обеспечивается мгновенной доступностью питательных веществ. Корни контактируют со свежими, не окисленными соединениями. Также корневая система, находящаяся в хорошо аэрируемой воде, активно дышит, что ускоряет все метаболические процессы и поглощение элементов. Поверхность корней (ризосфера) становится идеальным местом для колонизации нитрифицирующими бактериями, что формирует естественный биофильтр.

Проведённое исследование показывает, что интегрированная аквапонная система, которая включает в себя прямой контакт корней растений с водой, обладает высокой эффективностью, устойчивостью и продуктивностью. Она решает две задачи одновременно: обеспечивает высокие темпы производства качественной растительной продукции и создает оптимальные условия для гидробионтов за счет естественной биологической очистки воды.

Исследования проведены за счет средств государственного задания Минобр России №FGGN-2024-0013

The research was carried out at the expense of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No.FGGN-2024-0013

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: В.А. Махонина – методика, проведение исследования, сбор и обработка данных, написание исходного варианта рукописи; П.С. Якимова – методика, проведение исследования, сбор и обработка данных, написание исходного варианта рукописи; А.С. Мамонтова – проверка результатов, редактирование рукописи.

The authors declare that there is no conflict of interest. Contribution to the work of the authors: V.A. Makhonina –

methodology, conducting research, collecting and processing data, writing the original version of the manuscript;
P.S. Yakimova – *methodology, conducting research, collecting and processing data, writing the original version of the manuscript;*
A.S. Mamonova – *checking the results, editing the manuscript.*

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Патанина К.В., Бойцова Ю.С., Аленин И.П. Статистика и тенденции развития технологий рынка гидропонного земледелия // Национальный исследовательский университет ИТМО – Россия. г. Санкт-Петербург. Journal of Economy and Business, vol. 12-1 (70), 2020. ISBN978-92-5-108532-5
2. Dhal S.B., Jungbluth K., Lin R., Sabahi S.P., Bagavathiannan M., Braga-Neto U., Kalafatis S. A Machine-Learning-Based IoT System for Optimizing Nutrient Supply in Commercial Aquaponic Operations. Sensors – Basel. 2022 May 5;22(9):3510. <https://doi.org/10.3390/s22093510>
3. Khater E.S., Bahnasawy A., Ali S. et al. Study on the plant and fish production in the aquaponic system as affected by different hydraulic loading rates. Sci Rep 13, 17505 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44707-1>
4. Lam S.S., Ma N.L., Jusoh A., Ambak M.A. (2015) Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. – Int Biodeterior Biodegradation. 102:107-115. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.012>
5. Sewilam H., Kimera F., Nasr P. et al. (2022). A sandponics comparative study investigating different sand media based integrated aqua vegiculture systems using desalinated water. Sci Rep 12, 11093 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15291-7>
6. Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., & Lovatelli A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, (589). ISBN978-92-5-108532-5
7. Проверенные рыночные отчёты. Гидропонный рынок рынка крытых ферм, конкурентная динамика и прогноз. Дата публикации: 02.2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/hydroponic-indoor-farm-market/> (Дата обращения: 07.08.2025). ID отчета: 493790
8. Проверенные рыночные отчёты. Рынок Aquaponics Systems Размер, рост, расширение рынка и прогноз 2032. Дата публикации: 03.2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/aquaponics-systems-market/> (Дата обращения: 07.08.2025). ID отчета: 870908
9. Markets and Markets. Hydroponics Market by Type (Aggregate Systems, Liquid Systems), Crop Type (Vegetables, Fruits, Flowers), Equipment (HVAC, Led Grow Light, Irrigation Systems, Material Handling, Control Systems), Input, Region – Global Forecast to 2027. Дата публикации: 09.2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydroponic-market-94055021.html> (Дата обращения: 07.08.2025).
10. Патанина К.В., Бойцова Ю.С., Аленин И.П. Статистика и тенденции развития технологий рынка гидропонного земледелия // ИТМО Национальный исследовательский университет – Россия. Санкт-Петербург. Journal of Economy and Business, vol. 12-1 (70). ISBN978-92-5-108532-5. (In Russ.)
11. Dhal S.B., Jungbluth K., Lin R., Sabahi S.P., Bagavathiannan M., Braga-Neto U., Kalafatis S. (2022). A Machine-Learning-Based IoT System for Optimizing Nutrient Supply in Commercial Aquaponic Operations. Sensors – Basel. May 5;22(9):3510. <https://doi.org/10.3390/s22093510>
12. Khater E.S., Bahnasawy A., Ali S. et al. (2023). Study on the plant and fish production in the aquaponic system as affected by different hydraulic loading rates. Sci Rep 13, 17505 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44707-1>
13. Lam S.S., Ma N.L., Jusoh A., Ambak M.A. (2015) Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. – Int Biodeterior Biodegradation. 102:107-115. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.012>
14. Sewilam H., Kimera F., Nasr P. et al. (2022). A sandponics comparative study investigating different sand media based integrated aqua vegiculture systems using desalinated water. Sci Rep 12, 11093 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15291-7>
15. Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., & Lovatelli A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, (589). ISBN978-92-5-108532-5
16. Verified market reports. The hydroponic market of the indoor farm market, competitive dynamics and forecast. Date of publication: 02.2025 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/hydroponic-indoor-farm-market/> (Date of access: 08/07/2025). Report ID: 493790
17. Verified market reports. Aquaponics Systems Market Size, growth, market expansion and forecast 2032. Date of publication: 03.2025 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/aquaponics-systems-market/> (Date of access: 08/07/2025). Report ID: 870908
18. Markets and Markets. Hydroponics Market by Type (Aggregate Systems, Liquid Systems), Crop Type (Vegetables, Fruits, Flowers), Equipment (HVAC, Led Grow Light, Irrigation Systems, Material Handling, Control Systems), Input, Region – Global Forecast to 2027. Date of publication: 09.2022 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydroponic-market-94055021.html> (Date of request: 08/07/2025).

Материал поступил в редакцию/ Received 02.09.2025
 Принят к публикации / Accepted for publication 25.09.2025