

Copyright © 2023 by Cherkas Global University



Published in the USA
Biogeosystem Technique
Issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2023. 10(1): 3-11

DOI: 10.13187/bgt.2023.1.3
<https://bgt.cherkasgu.press>



Articles

Prospects of Citrus Cultivation on Active Hydroponic Systems in Urban Intensive Crop Production (A Review)

Pavel O. Kazakov ^{a, b}, Svetlana V. Akimova ^{a, b, *}, Ivan V. Nechiporenko ^{a, b}, Zafarjon A. Jabbarov ^c, Peter Kováčik ^d, Shovkat M. o'g'li Kholdorov ^e, Zeynep Demir ^f, Małgorzata Suska-Malawska ^g, Nikolay N. Sibulko ^h

^a Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Russian Federation

^b All-Russian Phytopathology Research Institute, Russian Federation

^c National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Republic of Uzbekistan

^d Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia

^e Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan

^f Fertilizer and Water Resources Central Research Institute, Turkey

^g Biological and Chemical Research Centre of University of Warsaw, Poland

^h International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov of Belarusian State University, Republic of Belarus

Paper Review Summary:

Received: 2023, May 11

Received in revised form: 2023, July 23

Acceptance: 2023, July 31

Abstract

The article considers the prerequisites for the formation of urbanized agro-production, notes its main advantages and development prospects. The main emphasis is made on intensive urban crop production, which is one of the most dynamically developing areas of city farming. A brief review of the most popular hydroponic systems presented, their specifics are described. We have identified the main vegetable, berry, green and ornamental crops, in the cultivation of which hydroponics technologies are actively used.

An important factor in the development of intensive crop production is the introduction of new crops into production. Thus, one of the most perspective directions, in our opinion, is citrus crops. In addition to their highest nutritional value, citrus fruit processing products are widely used in the cosmetic and medical industries. Colossal volume of world production and consumption of citrus fruits has made this crop the most economically important fruit crop in the world. Thus, this article presents statistics on the volume of global production, exports and imports of citrus fruits for 2019. One of the most important consumers of citrus fruits in the world trade is the Russian

* Corresponding author

E-mail addresses: akimova@rgau-msha.ru (S.V. Akimova), paulkazako@gmail.com (P.O. Kazakov)

Federation, but due to climatic conditions, its own production of citrus fruits using classical technologies of ground cultivation is very limited.

In this article, the advantages of intensive hydroponics cultivation of citrus crops were hypothesized and a preliminary experiment was conducted. Observation of the experimental plants showed an increase in growth rate relative to their counterparts growing in soil in a winter greenhouse under similar temperature, humidity and light conditions. These preliminary results open wide possibilities for further experiments on selection of cultivars, grafting methods and obtaining productive plants.

Keywords: urbanization, intensive crop production, city farming, hydroponics, DWC system, NFT system, Flood and Drain system, citrus crops.

1. Введение

Современный мир невозможно представить без мегаполисов. Именно в крупнейших городских агломерациях, которые являются движущей силой развития национальных экономик, создается и сосредотачивается значительная часть материальных богатств развитых стран (Damdinsuren, Kholina, 2020). Процесс образования городских агломераций является следствием роста крупных городов. Этот процесс возник с середины 20 века и продолжается до сих пор (Antonov, Makhrova, 2019).

Изучение распределения современных городских агломераций по регионам мира показало, что более половины городского населения сосредоточено в 380 крупнейших городах и агломерациях, большинство из которых находится в Азии. При этом, число агломераций Африки и Латинской Америки увеличивается, а Европы и Северной Америки уменьшается. Также, все крупнейшие агломерации находятся в самых больших странах мира по численности населения (Fefilov, 2011). Одной из стран с высоким уровнем урбанизации является Россия. С 1917 по 2017 год количество людей, проживающих в городах, выросло с 16 до 74 % (Fefilov, 2011; Manaeva, 2017).

Для урбанизации характерен не только рост городского населения, но и существенное уменьшению численности сельского населения. Так, с 2008 года численность населения в городах уже превышает численность населения в сельской местности (Mitaev, 2018).

Сокращение сельского населения вследствие миграции в крупные города приводит к сокращению традиционного сельскохозяйственного производства, а растущее население городов требует все большего количества качественной и доступной пищи. Все это приводит к увеличению рисков для продовольственной безопасности (Petrova, 2020).

Уже сегодня городам критически необходимы внешние поставки продовольствия. Так, для успешного существования города с населением в 10 миллионов человек необходимо 6,6 тыс. т. продукции в день (Lepeska, 2013). По оценкам ФАО, прирост традиционного сельскохозяйственного производства в следующее десятилетие составит 1,5 % в год, однако этого недостаточно, чтобы покрыть опережающее увеличение потребности в пище на фоне возрастающих темпов роста городского населения (FAO, 2010).

Немаловажным является стремительный рост цен на продукцию традиционного сельского хозяйства вследствие логистических потерь, увеличения стоимости услуг перевозчиков и операторов хранения. При этом в случае продолжительной транспортировки происходит неминуемое снижение свежести и качества продукции для конечного потребителя (Drozdov, 2008; Sembin, Surankulov, 2020).

2. Методология

Одним из вариантов решения данной проблемы является дополнение традиционного сельского хозяйства принципиально новым типом производства пищевой продукции – городским агропроизводством (сити-фермерством). Главными достоинствами сити-фермерства являются: высокая технологичность, ресурсоэффективность, климатонезависимость и возможность круглогодичного автоматизированного выращивания продукции непосредственно в местах ее потребления, что сводит к минимуму логистические издержки и количество отходов производства (Sembin, Surankulov, 2020).

Основой сити-фермерства является создание контролируемой среды с высоким уровнем автоматизации в условиях защищенного грунта. Изолированность производства от внешних условий и полный контроль необходимых параметров позволяет производить

продукцию, отвечающую самым высоким стандартам качества (безопасность, натуральность, экологичность, свежесть). При этом, использование такой интенсивной технологии выращивания, как гидропоника, позволяет получать более экологичную продукцию по сравнению с технологиями традиционного сельского хозяйства (Fu et al., 2008). В настоящее время мировой рынок органических продуктов стремительно расширяется и по прогнозам экспертов к 2030 году вырастет до 564,22 млрд долл. (GVR, 2023).

Одним из важнейших направлений сити-фермерства является городское интенсивное растениеводство. Оно базируется на использовании гидропонных систем, имеющие конструктивные различия, но объединенные по механизму действия. Гидропоника подразумевает выращивание растений на специальном водном питательном растворе, содержащем все необходимые для роста растений минеральные соли. При этом, все гидропонные системы разделяются на две большие группы – субстратные и безсубстратные (Petrova, Shlykov, 2019).

Субстратные гидропонные системы нуждаются в использовании инертного субстрата, выполняющего функцию удержания корневой системы растений и поддержания оптимальных условий для их роста и развития. Субстраты, применяемые в гидропонике, делятся на две группы – неорганические и органические. Среди наиболее популярных неорганических субстратов можно выделить минеральную вату, перлит, вермикулит и керамзит. Из органических – торф и кокос (Tsydendambaev, 2019). В безсубстратных гидропонных системах субстрат отсутствует.

Все промышленные гидропонные системы относят к «активным» системам. В них циркуляция питательного раствора или его аэрация производится с помощью механического воздействия. Питательный раствор и воздух поступает к корням при помощи различных помп и насосов.

Одним из простейших видов активных гидропонных систем является система глубоководных культур (DWC). DWC – это гидропонная технология, основанная на постоянном погружении корней растений в раствор, содержащий питательные вещества. Её особенностью является наличие резервуара с питательным раствором, который необходимо регулярно аэрировать. Насыщение питательного раствора воздухом происходит с помощью воздушных компрессоров. Аэрация раствора позволяет поддерживать оптимальный уровень кислорода в корневой зоне, что способствует дыханию корневой системы и эффективному поглощению питательных веществ. Однако, при отключении электроэнергии уровень растворенного в воде кислорода быстро падает, из-за чего корневая система начинает испытывать кислородное голодание и постепенно отмирает (Nursyahid et al., 2021).

Еще одной распространенной системой является техника питательной пленки (NFT). Также она известна как система непрерывной рециркуляции или просто – система рециркуляции. Принцип работы системы NFT заключается в рециркуляции питательного раствора между резервуаром и плоскими каналами, в которых находятся растения. С помощью электрического насоса питательный раствор перекачивается в пластиковые каналы, расположенные наклонно и медленно стекает обратно в резервуар. Таким образом на дне каналов образуется пленка насыщенного кислородом питательного раствора. Непрерывный поток питательного раствора поддерживает постоянный контакт корней с раствором, что обеспечивает хорошее снабжение корневой системы кислородом и необходимыми минеральными питательными веществами. Недостатком системы служит высокая зависимость от электроэнергии, поскольку необходима бесперебойной работа насоса. В случае его отключения питательная пленка быстро пересыхает, что ведет к высыханию и отмиранию корневой системы (Rodríguez-Delfín, 2023).

Следующий тип гидропонной системы, который мы рассмотрим, это метод приливов и отливов (Flood and Drain). Также ее называют системой периодического затопления. Она состоит из двух резервуаров, расположенных друг над другом. Из нижнего резервуара с помощью электрического насоса раствор подается в верхний резервуар, в котором растут растения. После наполнения верхнего резервуара насос отключается и раствор постепенно стекает обратно в нижний резервуар. После этого цикл повторяется. Эта система позволяет экономить электричество, поскольку насос работает интервалами, а не постоянно, как в NFT. Благодаря циклическому погружению в питательный раствор корневая система получает

достаточно кислорода и питательных минеральных веществ. Эта система также зависит от бесперебойной работы насоса. Его отключение ведет к быстрому высыханию и отмиранию корневой системы (Sela Saldinger et al., 2023).

Следующий вид гидропонной системы - это система капельного полива, также называемая малообъемным выращиванием. В настоящее время она является самой распространенной гидропонной системой в мире. Ее особенностью является использование инертного субстрата, в котором растет растение. Питательный раствор равномерно подается под каждое растение с помощью насоса и специальной системы капельниц. Среди систем капельного полива выделяют два вида систем – реверсивные и нереверсивные. Реверсивные системы являются более сложными и дорогими, но вместе с тем более ресурсосберегающими. Они повторно используют дренажный сток, образующийся после полива растений, пропуская его через системы очистки, обеззараживания и восстановления. Нереверсивные системы являются более простыми и дешевыми, но при этом менее ресурсоэффективными. В этих системах дренажный сток не используется вторично и удаляется в отходы. По сравнению с предыдущими системами, наличие влагоемкого субстрата позволяет растениям переносить временные отключения системы. Однако, необходима чистка капельниц для предотвращения их засорения и прекращения подачи питательного раствора к корням растений (Abedin et al., 2021; Maucieri et al., 2019; Bondarenko, 2018).

Последняя система, которую мы рассмотрим, это аэропоника. Она является самой высокотехнологичной и современной из коммерческих гидропонных систем. Ее особенностью является наличие резервуара, в крышке которого закреплены растения, а их корни свободно свисают вниз. С помощью мощного насоса и системы форсунок корневая система растений периодически увлажняется распыленным питательным раствором. Таким образом корневая система растений находится в постоянном тумане, состоящем из питательного раствора и кислорода. Именно максимально возможная степень аэрации способствует очень высоким темпам роста выращиваемых культур. Однако эта система также очень чувствительна к отключению электроэнергии и поломке оборудования. Без увлажнения нежные и тонкие корни высыхают и погибают очень быстро (Niu, Masabni, 2022).

3. Обсуждение

Несмотря на конструктивные различия гидропонных систем, при выращивании на них растений необходимо контролировать общие параметры среды. К ним относятся химический состав питательного раствора, его электропроводность (Ес) и кислотность (рН), интенсивность освещения и его спектральный состав (в случае использования искусственного освещения), температуру воздуха и раствора, влажность воздуха и его газовый состав (Bondarenko, 2018; Protopopova et al., 2022).

Несмотря на то, что гидропонные фермы являются более затратным способом выращивания растений по сравнению с технологиями выращивания традиционного сельского хозяйства (Pomoni et al., 2023), современное производство многих популярных культур невозможно без гидропоники.

Самыми популярными культурами среди овощных, выращиваемых в промышленных масштабах, являются: огурец (*Cucumis sativus* L.) и томат (*Solanum lycopersicum* L.) (Medany et al., 2008; Fayeizadeh et al., 2021). Самые распространенные зеленные культуры, выращиваемые для потребления в крупных городах в свежем виде, также производятся на гидропонных фермах (Abu-Shahba et al., 2021). Среди ягодных культур, наиболее популярной для выращивания в условиях гидропоники является земляника садовая (*Fragaria × ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) (Gómez et al., 2012). Также технологии гидропоники широко применяются при производстве многолетних декоративных культур, например, розы (*Rosa* L.) (Fascella, 2007). При этом, количество культур, для выращивания которых начинают применять технологию гидропоники, постоянно увеличивается.

Немаловажным фактором развития интенсивного растениеводства является внедрение в производство новых культур (Debangshi, 2021). Так, одним из перспективных направлений, по нашему мнению, являются цитрусовые культуры.

Род Цитрус (*Citrinae* L.) принадлежит к подсемейству Померанцевые (*Aurantioideae* Eaton.), семейству Рутовые (*Rutaceae* Juss.), порядку Сапindoцветные (*Sapindales* Dumort.)

и включает в себя многочисленные разновидности фруктов, используемых в промышленном производстве. К ним относятся сладкие, кислые и горькие апельсины, мандарины, грейпфруты, лимоны, лаймы, цитроны и т.д., а также очень большое количество гибридов и цибридов (цитоплазматических гибридов). Цитрусовые выращивают почти во всех странах на 30-35 градусов севернее и южнее экватора (Berk, 2016).

Цитрусовые являются важным источником пищи и энергии, играют значительную роль в здоровом питании. Помимо высокого содержания углеводов, плоды цитрусовых являются хорошим источником пищевых волокон. Кроме того, цитрусовые являются одним из важнейших источников витамина С и различных биологически активных соединений. Плоды цитрусовых широко используют не только в свежем виде, но и в переработанном. Из них получают сок, готовят джем, желе, пироги, торты, конфеты, мармелад и т.д. Большинство отходов цитрусовых в настоящее время используется в качестве корма для животных. Побочные продукты переработки цитрусовых широко используются в медицинских и косметических целях (Maruf, Saeid, 2021).

Цитрусовые – самая экономически важная фруктовая культура в мире (Abouzari, Nezhad, 2016). По данным ФАО, мировое производство цитрусовых в 2019 году составило 143 755,6 тыс. т. (в 2018 – 133 805,5 тыс. т.). Из них апельсины – 76 292,6 тыс. т. (в 2018 – 70 841,5 тыс. т.). Мандарины – 37 429,3 тыс. т. (в 2018 году - 35 964,9 тыс. т.). Лимоны и Лаймы – 20 529,6 тыс. т. (в 2018 – 18 143,2 тыс. т.). Грейпфруты – 9 504,1 тыс. т. (в 2018 – 8 863,3 тыс. т.). При этом, отчетливо видна тенденция к увеличению объемов производства (FAO, 2021).

Мировой экспорт цитрусовых по данным ФАО за 2019 год составил 17 417,7 тыс. т. (за 2018 год – 18 269,3 тыс. т.). Основными мировыми экспортерами являются: Европейский регион (5 973,8 тыс. т.). Лидер – Испания (4 043,9 тыс. т.); Африканский регион (4 810,0 тыс. т.). Лидеры – ЮАР (2 090,7 тыс. т.) и Египет (1 957,5 тыс. т.); Азиатский регион (3 542,1 тыс. т.). Лидеры – Турция (1 463,9 тыс. т.) и Китай (1003,5 тыс. т.); Южноамериканский регион (1 183,7 тыс. т.); Североамериканский регион (США) – (667,4 тыс. т.). Экспорт цитрусовых из Российской Федерации за 2019 год составил 18,6 тыс. т. (FAO, 2021).

Мировой импорт цитрусовых по данным ФАО за 2019 год составил 16 560,4 тыс. т. (за 2018 год – 16 152,4 тыс. т.). Основными мировыми импортерами являются: Европейский регион (10 037,8 тыс. т.). Лидер – Российская Федерация (1 724,0 тыс. т.); Азиатский регион (4 236,3 тыс. т.). Лидер – Саудовская Аравия (604,4 тыс. т.); Североамериканский регион (1 775,7 тыс. т.). Лидер – США (1 303,5 тыс. т.) (FAO, 2021).

Анализируя статистику экспорта и импорта цитрусовых в Российской Федерации, отчетливо видно значительное преобладание импорта (1 724,0 тыс. т.) над экспортом (18,6 тыс. т.). Это является следствием ограничения площадей, пригодных для отечественного цитрусоводства. Биологически цитрусовые – субтропические и теплолюбивые растения, способные успешно произрастать в климатических условиях России лишь на Черноморском побережье Краснодарского края. На этих небольших площадях возможно возделывание цитрусовых в промышленных масштабах по классическим технологиям грунтового выращивания (Gorshkov, 1996).

Эти ограничения возможно снять, используя современные технологии сити-фермерства и гидропоники. Это утверждение основано на том факте, что цитрусовые культуры являются вечнозелеными растениями, способными при благоприятных условиях расти круглогодично (Patial, Gorshkov, 2021). Также многие цитрусовые, в частности лимоны, проявляют свойства ремонтантности – способности цвести и плодоносить волнами на протяжении всего периода роста (Agustí et al., 2022).

Эти свойства, по нашему мнению, открывают широкие перспективы для внедрения технологий урбанизированного агропроизводства и гидропоники для круглогодичного получения продукции цитрусовых культур непосредственно в местах ее потребления (крупных городах).

В подтверждение нашей гипотезы, был поставлен предварительный эксперимент, доказывающий возможность выращивания цитрусовых в искусственных условиях на гидропонике. В качестве объекта исследования был выбран лимон Волкамер (*Citrus volkameriana* V.Ten. & Pasq.) – энергичный и продуктивный подвой цитрусовых, известный своей адаптивностью и универсальностью. Его несомненным преимуществом является

устойчивость к таким распространенным болезням citrusовых, как корневая гниль, тристеза, экзокортис и ксилопороз (Castle et al., 1993).

Укорененные черенки, полученные от плодоносящего дерева, высаживали в гидропонную установку, работающую по методу приливов и отливов (Flood and Drain).

На **Рисунке 1** представлены растения *Citrus volkameriana* V.Ten. & Pasq. возрастом 12 мес. Для удержания кроны в пределах гидропонной установки проводили регулярную обрезку растений.

Параметры выращивания: температура +21°C; влажность 60%; Освещенность 30 000 lux; фотопериод (день/ночь) 16/8.



Рис. 1. Растения *Citrus volkameriana* V.Ten. & Pasq. после 12 месяцев выращивания на гидропонной установке Flood and Drain

Наблюдение за опытными растениями показало увеличение скорости роста по отношению к аналогичным, растущим в почве в условиях зимней теплицы – 6 волн роста у растений, растущих в искусственных условиях на гидропонике против 3 волн у растений, растущих в почве при аналогичной температуре, влажности и освещенности.

4. Заключение

Появление отрасли интенсивного городского растениеводства – это закономерный этап эволюции традиционного агропроизводства на фоне увеличения темпов урбанизации. Рациональная и высокоэффективная организация ресурсов позволяет многократно повысить производительность растительных культур и увеличить продуктивность с ограниченной площади.

Во многом это возможно благодаря гидропонике, являющейся одной из важнейших технологий интенсивного растениеводства. Широкое применение этой технологии уже сейчас позволяет получать экологически чистую растительную продукцию непосредственно в местах ее потребления. При этом, спрос растет не только на классические овощные, ягодные и декоративные культуры, технологии производства которых уже давно отработаны, но и на новые для интенсивного растениеводства культуры.

К одной из таких культур относятся citrusовые, по импорту которых Российская Федерация занимает лидирующую позицию. В силу особенностей климатических условий собственное производство citrusовых культур по классическим технологиям ограничено, что возможно решить применением интенсивных технологий выращивания на гидропонике.

Нами был поставлен предварительный эксперимент, доказывающий возможность выращивания citrusовых в искусственных условиях на гидропонике. Его предварительные результаты, которые мы сочли удачными, открывают широкие возможности для

дальнейших экспериментов по подбору культурных сортов, методов прививки и получению продуктивных растений.

References

- Abedin et al., 2021** – *Abedin, T., Yamamoto, A., Hayashi, T., Hosokawa, M.* (2021). Drip fertigation enhances the growth of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa*) using polyester fiber substrate. *Scientia Horticulturae*. 276. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109604
- Abouzari, Nezhad, 2016** – *Abouzari, A., Nezhad, N.M.* (2016). The Investigation of Citrus Fruit Quality. Popular Characteristic and Breeding. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 64(3): 725-740. DOI: 10.11118/actaun201664030725
- Abu-Shahba et al., 2021** – *Abu-Shahba, M.S., Mansour, M.M., Mohamed, H.I.* (2021). Comparative Cultivation and Biochemical Analysis of Iceberg Lettuce Grown in Sand Soil and Hydroponics With or Without Microbubbles and Macrobubbles. *J Soil Sci Plant Nutr.* 21: 389-403. DOI: 10.1007/s42729-020-00368-x
- Agustí et al., 2022** – *Agustí, M., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C.* (2022). Advances in Citrus Flowering: A Review. *Front Plant Sci.* DOI: 10.3389/fpls.2022.868831
- Antonov, Makhrova, 2019** – *Antonov, E.V., Makhrova, A.G.* (2019). The largest urban agglomerations and forms of settlement at the nadagglomeration level in Russia. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series geographical.* 4: 31-45. DOI: 10.31857/S2587-55662019431-45
- Berk, 2016** – *Berk, Z.* (2016). Citrus Fruit Processing. *Academic Press.* 1-8. DOI: 10.1016/B978-0-12-803133-9.00001-1
- Bondarenko, 2018** – *Bondarenko, E.V.* (2018). Cultivation of some crop plants in low-volume hydroponics. *Young Researcher of the Don.* 4(13): 18-23.
- Castle et al., 1993** – *Castle, W., Tucker, D., Krezdorn, A., Youtsey, C.* (1993). Rootstocks for Florida Citrus. University of Florida. Institute of food and agricultural sciences. 92.
- Damdinsuren, Kholina, 2020** – *Damdinsuren, D., Kholina, V.N.* (2020). Dynamics of the world's largest agglomerations by population (1990-2020). *Innovative Economy.* 4(25): 28-43.
- Debangshi, 2021** – *Debangshi, U.* (2021). Hydroponics – An Overview. *Chronicle of Bioresource Management.* 5(3): 110-114. DOI: 10.5281/ZENODO.5552644
- Drozdov, 2008** – *Drozdov, P.A.* (2008). Fundamentals of logistics: textbook. (Belarus). 211.
- FAO, 2010** – Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. (2010). Edited by Jenny Gustavsson & Christel Cederberg. Düsseldorf, Germany. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/docrep/014/mbo60e/mbo60e00.pdf> (date of access: 20.06.2023).
- FAO, 2021** – Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin 2020. (2021). Rome. Italy. [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf> (date of access: 28.06.2023).
- Fascella, 2007** – *Fascella, G.* (2007). Evaluating the Productivity of Red Rose Cultivars in Soilless Culture. *Acta Horticulturae.* 751(751): 99-104. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.751.11.
- Fayezizadeh et al., 2021** – *Fayezizadeh, M., Ansari, N., Albaji, M., Khaleghi, E.* (2021). Effects of hydroponic systems on yield, water productivity and stomatal gas exchange of greenhouse tomato cultivars. *Agricultural Water Management. Elsevier.* 258. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107171
- Fefilov, 2011** – *Fefilov, A.V.* (2011). Features of population concentration of highly developed countries of the world in large cities in different periods of the twentieth century in connection with the level of their economic and technological development. *Vestnik of Udmurt University. Philosophy. Psychology. Pedagogy.* 2: 134-141.
- Fu et al., 2008** – *Fu, T.-T., Liu, J.-T., Hammitt, J.K.* (2008). Consumer Willingness to Pay for Low-Pesticide Fresh Produce in Taiwan. *J. Agric. Agric. Econ.* 50: 220-233. DOI: 10.1111/j.1477-9552.1999.tb00809.x
- Gómez et al., 2012** – *Gómez, H.R., Sandoval-Villa, M., Carrillo-Salazar, A., Muratalla-Lúa, A.* (2012). Comparison of Hydroponic Systems in the Strawberry Production. *Acta Horticulturae.* 947: 165-172. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.947.20
- Gorshkov, 1996** – *Gorshkov, V.M.* (1996). Citrus growing in the subtropics of Russia: abstract of disc. of doctor of agricultural sciences: 06.01.07. Moscow. 42. [in Russian]
- GVR, 2023** – Organic Food And Beverages Market To Reach \$564.22 Billion By 2030. [Electronic resource]. URL: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-organic-food-beverages-market> (date of access 06.13.2023).

- Kolomak, 2011 – Kolomak, E.A. (2011). Assessment of the impact of urbanization on economic growth in Russia. *Region: Economics and Sociology*. 4: 51-69.
- Lepeska, 2013 – Lepeska, D. (2013). Betting the Farm: Is There an Urban Agriculture Bubble? Next City. [Electronic resource]. URL: <https://nextcity.org/features/view/betting-the-farm> (date of access: 26.06.2023).
- Manaeva, 2017 – Manaeva, I.V. (2017). Urbanization and economic development in the regions of Russia. *Economic analysis: theory and practice*. 16(9): 1635-1663.
- Maruf, Saeid, 2021 – Maruf, A., Saeid, A. (2021). Citrus Fruits: Nutritive Value and Value-Added Products. Citrus – Research, Development and Biotechnology. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.95881
- Maucieri et al., 2019 – Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., Junge, R. (2019). *Hydroponic Technologies. Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham. 77-110. DOI: 10.1007/978-3-030-15943-6_4
- Medany et al., 2008 – Medany, M.A., Hafez, M.M., Abou-Hadid, A.F., El-Beltagy, A.S. (2008). Root Media Materials for Cucumber Production in Closed Recirculated Hydroponic Systems. *Journal of Vegetable Crop Production*. 29-35. DOI: 10.1300/J068v01n01_04
- Mitaev, 2018 – Mitaev, M.I. (2018). Prospects, problems and trends of global urbanization processes. *Izvestiya Chechen State University*. 4(12): 40-44.
- Niu, Masabni, 2022 – Niu, G., Masabni, J. (2022). Hydroponics. *Plant Factory Basics, Applications and Advances*. 153-166. DOI: 10.1016/B978-0-323-85152-7.00023-9
- Nursyahid et al., 2021 – Nursyahid, A., Setyawan, T.A., Sa'diyah, K., Wardihani, E.D., Helmy, H., Hasan, A. (2021). Analysis of Deep Water Culture (DWC) hydroponic nutrient solution level control systems. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* DOI: 10.1088/1757-899X/1108/1/012032
- Patial, Gorshkov, 2021 – Patial, U., Banyal, S. (2021). Nursery production of evergreen fruits. *International Journal of Plant Production* 4(2): 12-19.
- Petrova, 2020 – Petrova, M.N. (2020). Urbanization and food security. *In the world of scientific discoveries: Proceedings of the IV International Student Scientific Conference*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 5: 45-48. [in Russian]
- Petrova, Shlykov, 2019 – Petrova, E.V., Shlykov, M.V. (2019). Study of substrates for hydroponic method of growing crops. Problems of environmental education in the XXI century: Proceedings of the III International Scientific Conference, dedicated to the 100th anniversary of the Pedagogical Institute. Edited by Gracheva, E.P. Vladimir State University. 317-321. [in Russian]
- Pomoni et al., 2023 – Pomoni, D.I., Koukou, M.K., Vrachopoulos, M.G., Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. *Energies*. 16. DOI: 10.3390/en16041690
- Protopopova et al., 2022 – Protopopova, D.A., Podosinina, I.S., Kozhevnikova, E.M. (2022). National experience in the organization of city-farming enterprises. State and prospects of development of agro-industrial complex: anniversary collection of scientific papers of the XV International Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don. Pp. 160-163.
- Rodríguez-Delfín, 2023 – Rodríguez-Delfín, A. (2023). Peruvian hydroponics: low-cost options to produce vegetables for South American cities. *Urban and Regional Agriculture: Building Resilient Food Systems*. 561-594. DOI: 10.1016/B978-0-12-820286-9.00021-2
- Sela Saldinger et al., 2023 – Sela Saldinger, S., Rodov, V., Kenigsbuch, D., Bar-Tal, A. (2023). Hydroponic Agriculture and Microbial Safety of Vegetables: Promises, Challenges, and Solutions. *Horticulturae*. 9(51). DOI: 10.3390/horticulturae9010051
- Sembin, Surankulov, 2020 – Sembin, M.C., Surankulov, Sh.J. (2020). Urbanized agricultural production (city-farming) as a promising direction of development of the south of Russia and northern Kazakhstan. Post-industrial environment of Russian megacities: Collection of articles on the materials of scientific and technical conference with international participation. Edited by Shuvalov, M. V., Akhmedova, E. A., Karakova, T. V. Samara State Technical University. Pp. 98-103.
- Tsydendambaev, 2019 – Tsydendambaev, A.D. (2019). Greenhouse practice: Irrigation, nutrition, substrates. *Digest of the journal "Mir Teplits"*. Pp. 140-171.

Перспективы выращивания цитрусовых на активных гидропонных системах в городском интенсивном растениеводстве (обзор)

Павел О. Казаков ^{a, b, *}, Светлана В. Акимова ^{a, b, *}, Иван В. Нечипоренко ^{a, b}, Зафаржон А. Джаббаров ^c, Петр Ковачик ^d, Шовкат М. оглы Холдоров ^e, Зейнеп Демир ^f, Малгожата Суска-Малавская ^g, Николай Н. Сибулко ^h

^a Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени Тимирязева, Российская Федерация

^b Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Российская Федерация

^c Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улутбека, Узбекистан

^d Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре, Словакия

^e Токийский сельскохозяйственно-технологический университет, Япония

^f Центральный научно-исследовательский институт удобрений и водных ресурсов, Турция

^g Центр биологических и химических исследований Варшавского университета, Польша

^h Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрены предпосылки формирования урбанизированного агропроизводства, отмечены его основные достоинства и перспективы развития на фоне сокращения темпов роста традиционного сельского хозяйства. Основной акцент сделан на интенсивном городском растениеводстве, являющимся одним из самых динамично развивающихся направлений сити-фермерства. Представлен краткий обзор наиболее популярных активных гидропонных систем, описана их специфика. Выделены основные овощные, ягодные, зеленные и декоративные культуры, в выращивании которых активно применяются технологии гидропоники.

Немаловажным фактором развития интенсивного растениеводства является внедрение в производство новых культур. Так, одним из перспективных направлений, по нашему мнению, являются цитрусовые культуры. Помимо их высочайшей пищевой ценности, продукты переработки плодов цитрусовых культур широко используются в косметической и медицинской промышленности. Колоссальные объемы мирового производства и потребления цитрусовых сделали эту культуру самой экономически важной фруктовой культурой в мире. Так, в статье представлена статистика по объему мирового производства, экспорту и импорту цитрусовых за 2019 год. Одним из важнейших потребителей цитрусовых в мировой торговле является Российская Федерация, но в силу климатических условий, собственное производство цитрусовых с использованием классических технологий грунтового выращивания сильно ограничено.

В статье были выдвинуты предположения о преимуществах интенсивного выращивания цитрусовых культур в условиях гидропоники и поставлен предварительный эксперимент. Наблюдение за опытными растениями показало увеличение скорости роста по отношению к аналогичным, растущим в почве в условиях зимней теплицы при аналогичной температуре, влажности и освещенности. Эти предварительные результаты открывают широкие возможности для дальнейших экспериментов по подбору культурных сортов, методов прививки и получению продуктивных растений.

Ключевые слова: урбанизация, интенсивное растениеводство, сити-фермерство, гидропоника, DWC система, NFT система, система малообъемного выращивания, цитрусовые культуры.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: akimova@rgau-msha.ru (С.В. Акимова),
paulkazako@gmail.com (П.О. Казаков)