

## ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ СОРТА ЧАРОИТ НА АЭРОГИДРОПОННЫХ УСТАНОВКАХ

<sup>1</sup>М.С. Романова, <sup>1</sup>Е.В. Хаксар, <sup>1,2,3,4</sup>Ю.В. Чудинова, <sup>2</sup>О.Н. Колбина

<sup>1</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

<sup>4</sup>Высшая инженерная школа агробиотехнологий, Томск, Россия

E-mail: thefinder@mail.ru

**Для цитирования:** Изучение эффективности использования различных источников освещения при выращивании растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках / М.С. Романова, Е.В. Хаксар, Ю.В. Чудинова, О.Н. Колбина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 168–179. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-168-179.

**Ключевые слова:** картофель, сорт Чароит, источники освещения, аэрогидропонная установка, рост, развитие растений.

**Реферат.** Процесс семеноводства картофеля предполагает сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии культивирования *in vitro* апикальных меристем и стерильных растений с последующим выращиванием мини-клубней в защищенных условиях. Наиболее перспективные методы – гидропонный и аэрогидропонный способы выращивания растений, для повышения продуктивности и качества картофеля используют дополнительное освещение. Работа проводилась в СибНИИСХиТ – филиале СФНЦА РАН. Объект – оздоровленные материнские микроклоны картофеля *Solanum tuberosum* L. сорта Чароит. Растения *in vitro* были высажены на аэрогидропонные установки серии «Фагро», оснащенные лампами с различным спектром освещения. Изучено влияние различных источников освещения на следующие морфометрические параметры развития: высота растений, количество листьев, длина корневой системы, средняя масса надземной части и корневой системы. Установлено влияние различных источников освещения на среднее количество мини-клубней с одного растения, среднюю массу одного мини-клубня, максимальную и минимальную массу мини-клубней и фракционный состав мини-клубней. При культивировании растений картофеля сорта Чароит аэрогидропонным способом рекомендовано использовать тип освещения со световым потоком 225  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Результаты данной работы позволят оптимизировать семеноводческий процесс картофеля. Работа выполнена при поддержке администрации Томской области в рамках НИР «Разработка элементов технологий получения оздоровленного семенного материала картофеля российских сортов в лабораторных условиях».

## STUDYING THE EFFECTIVENESS OF USING DIFFERENT LIGHTING SOURCES IN GROWING CHAROIT POTATO PLANTS IN AEROHYDROPONIC SYSTEMS

<sup>1</sup>M.S. Romanova, <sup>1</sup>E.V. Khaksar, <sup>1,2,3,4</sup>Yu.V. Chudinova, <sup>2</sup>O.N. Kolbina

<sup>1</sup>Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup>Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

<sup>4</sup>Higher Engineering School of Agrobiotechnology, Tomsk, Russia

E-mail: thefinder@mail.ru

**Keywords:** potato, light sources, aeroponic system, plant growth, plant development, Charoit variety.

**Abstract.** The seed potato breeding process involves combining biotechnological methods of plant sanitation based on *in vitro* apical meristem culture technology and sterile plant cultivation followed by the growth of mini-tubers under protected conditions. Among the most promising methods are hydroponic and aeroponic techniques for cultivating plants, where additional lighting is used to enhance productivity and quality of potatoes. This study was conducted at the Siberian Research Institute of Agriculture and Peet, which is part of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS). Object of study: healthy maternal micro-clones of potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Charoit. *In vitro* plants were

*planted onto «Fagro» series aeroponic systems equipped with lamps emitting various spectrums of light. The influence of different light sources on morphometric development parameters such as plant height, number of leaves, root system length, average aboveground mass, and root system mass was investigated. Additionally, we studied how different types of illumination affect key characteristics including: Average number of mini-tubers per plant, Average weight of one mini-tuber, Maximum and minimum weights of mini-tubers, Fractional composition of mini-tubers. It has been determined that when cultivating Charoit variety potatoes using an aeroponic method, it is recommended to use lighting with a light intensity of  $225 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . These results will allow optimization of the seed-breeding process for potatoes.*

Картофель – важнейшая сельскохозяйственная культура для ряда регионов России. Многочисленные исследования посвящены разработке ключевых проблем современного картофелеводства с предложением практических рекомендаций по повышению продуктивности и снижению издержек в технологии выращивания этой культуры [1, 2].

Процесс семеноводства картофеля предполагает сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии культивирования *in vitro* апикальных меристем и стерильных растений с последующим выращиванием мини-клубней в защищенных условиях. Наиболее перспективные методы – гидропонный и аэрогидропонный способы выращивания растений, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы [3].

Для повышения продуктивности и качества картофеля используют дополнительное освещение [4–12]. Наиболее распространенными источниками освещения остаются натриевые газоразрядные лампы высокого давления (НГР), металлогалогенные светильники, светодиоды (LED) и флуоресцентные лампы. Каждый тип имеет специфические характеристики спектра, интенсивности и энергосбережения, что оказывает значительное влияние на формирование урожая. Показано, что применение светодиодных фитосветильников с оптимальным спектром красного и синего цвета улучшает темпы роста надземной части и способствует увеличению массы клубней [4]. Отмечено преимущество использования комбинированных схем освещения, включающих комбинации нескольких видов ламп, направленных на создание оптимальных условий для каждой фазы жизненного цикла растений картофеля [5]. Гибридные схемы позволяют значительно повысить общую производительность аэрогидропонных установок, особенно в условиях недостатка естественного солнечного света. В ряде работ подчеркнута важность выбора правильного соотношения спектров подсветки, поскольку избыточное количество определенных цветов (например, голубых длин волн) способно негативно сказываться на росте растений и вызы-

вать задержку в развитии клубней [6]. Отмечено положительное воздействие технологий направленного освещения для стимуляции устойчивости растений к болезням и стрессовым факторам окружающей среды, определены оптимальные условия освещения для повышения урожайности и качества растений картофеля, выявлены особенности их реакции на разные спектры света. Нами ранее также получены результаты по влиянию различных видов освещения на рост и развитие оздоровленных растений картофеля сорта Антонина [7].

В ряде работ показана перспективность использования программируемых многоцветных диодных панелей, способных имитировать естественный солнечный цикл и создавать оптимальное освещение для каждого этапа вегетационного периода [8]. Важная роль отводится экологическим аспектам (экономия электроэнергии, минимизация негативного воздействия на окружающую среду), что особенно актуально в свете современных тенденций устойчивого сельского хозяйства и требований экологической безопасности.

Таким образом, проведенные в данном направлении исследования ряда ученых позволяют сделать вывод о том, что при получении мини-клубней картофеля на аэрогидропонных установках важные показатели – качество питательного раствора и спектральный состав света – оказывают существенное влияние на процессы роста, регенерации и ризогенеза растений. В целом при анализе поиска оптимальных источников освещения показано, что в семеноводстве картофеля широко используют аэрогидропонные установки, укомплектованные натриевыми лампами высокого давления мощностью 400–600 ватт, также активно используют люминесцентные лампы. Светотехническая промышленность, как отечественная, так и зарубежная, особенно в условиях импортозамещения, выпускает широкий ассортимент светодиодных ламп, имеющих перспективы использования в растениеводстве.

Цель исследования – изучить влияние различных источников освещения на рост и развитие растений картофеля сорта Чароит при выращива-

нии на аэрогидропонных установках, оснащенных лампами с различным спектром освещения.

В задачи исследования входило: изучение морфометрических показателей, оценка продуктивности, анализ фракционного состава мини-клубней.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа проводилась в СибНИИСХиТ – филиале СФНЦА РАН в 2019 г. Объект – оздоровленные материнские микроклоны картофеля *Solanum tuberosum* L. сорта Чароит, полученные из апикальных меристем путем культивирования

на питательной среде. Ранее для оздоровления картофеля проводился поиск базовых клонов в полевых условиях. Урожай каждого отобранного клона помещали в отдельный пакет и закладывали на хранение. После термотерапии клубни проращивали для получения этиолированных ростков размером 2–3 см. После появления из меристемы полноценного пробирочного растения проводили его микроклональное размножение и закладку опыта.

Полученные растения картофеля *in vitro* были высажены на аэрогидропонные установки серии «Фагро», оснащенные лампами с различным спектром освещения (рис. 1).

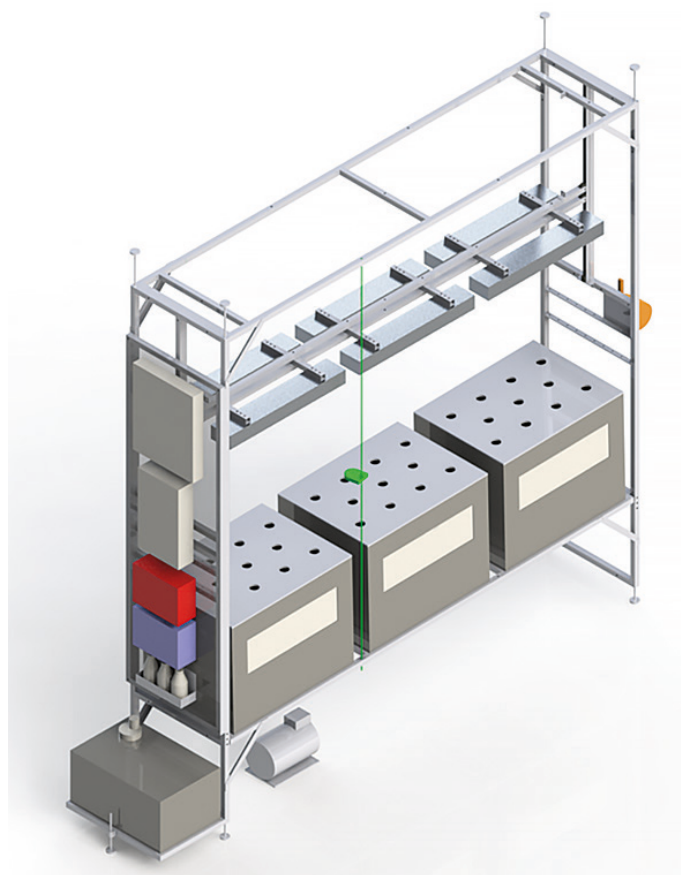


Рис. 1. Аэрогидропонная установка серии «Фагро»  
Aero Hydroponic system of the Fargo series

На каждую установку было высажены растения картофеля сорта Чароит в количестве 21 шт. Перед высадкой растения отмывали от остатков агаризованной среды для предотвращения попадания остатков агар-агара в систему активного питания. Выращивание растений картофеля на аэрогидропонных установках проводили в два этапа: сначала в условиях длинного дня (16-часовой фотопериод) на питательном растворе для

первой и второй фаз роста, режим впрыска раствора 40 с, аэрация 3 мин, температура 20–22 °С, затем в условиях короткого дня (10–12-часовой фотопериод) на питательном растворе для третьей фазы роста растений, режим впрыска раствора 1 мин, аэрация 15 мин, температура 16–18 °С.

Контроль и корректировку pH производили ежедневно, раствор меняли раз в неделю. Период выращивания картофеля составил 90 дней. После

появления мини-клубней осуществлялся их сбор, изучение и анализ.

Выращивание растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках осуществляли с использованием четырех разных типов источников освещения: это полноспектральные

светодиоды с регулированием уровня освещения и углом раскрытия светового потока не более 60 градусов.

Основные характеристики ламп представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики светодиодных ламп  
Main characteristics of LED lamps

| Тип освещения       | Мощность, Вт | Световой поток, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ | Максимум излучения, нм |
|---------------------|--------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
| Первая установка    | 1100         | 162                                                 | 660                    |
| Вторая установка    | 1100         | 225                                                 | 660                    |
| Третья установка    | 1100         | 205                                                 | 660                    |
| Четвертая установка | 1100         | 214                                                 | 660                    |

Данные источники освещения позволяют сократить энергозатраты в силу высокой светоотдачи светодиодов, отсутствия в спектре излучения составляющих, мало влияющих на рост растений, длительного рабочего ресурса, возможности регуляции потребляемой мощности и угла раскрытия, светового потока, который освещает только листовую поверхность растений. Распределение светодиодов по поверхности лампы позволяет получить равномерный световой поток на всей поверхности секции. Материал корпуса лампы – экструдированный алюминий – позволяет обе-

спечивать пассивное охлаждение светодиодов в их рабочем температурном диапазоне. Для увеличения надежности работы системы освещения установлена защита от перегорания, при этом при выходе из строя одного или нескольких светодиодов остальные продолжают работать. Питание светодиодов обеспечивают источники питания с защитой от короткого замыкания и перегрева и возможностью регулирования уровня выходной мощности управляющими сигналами от основного IoT контроллера. На рис. 2–5 показаны их спектры.

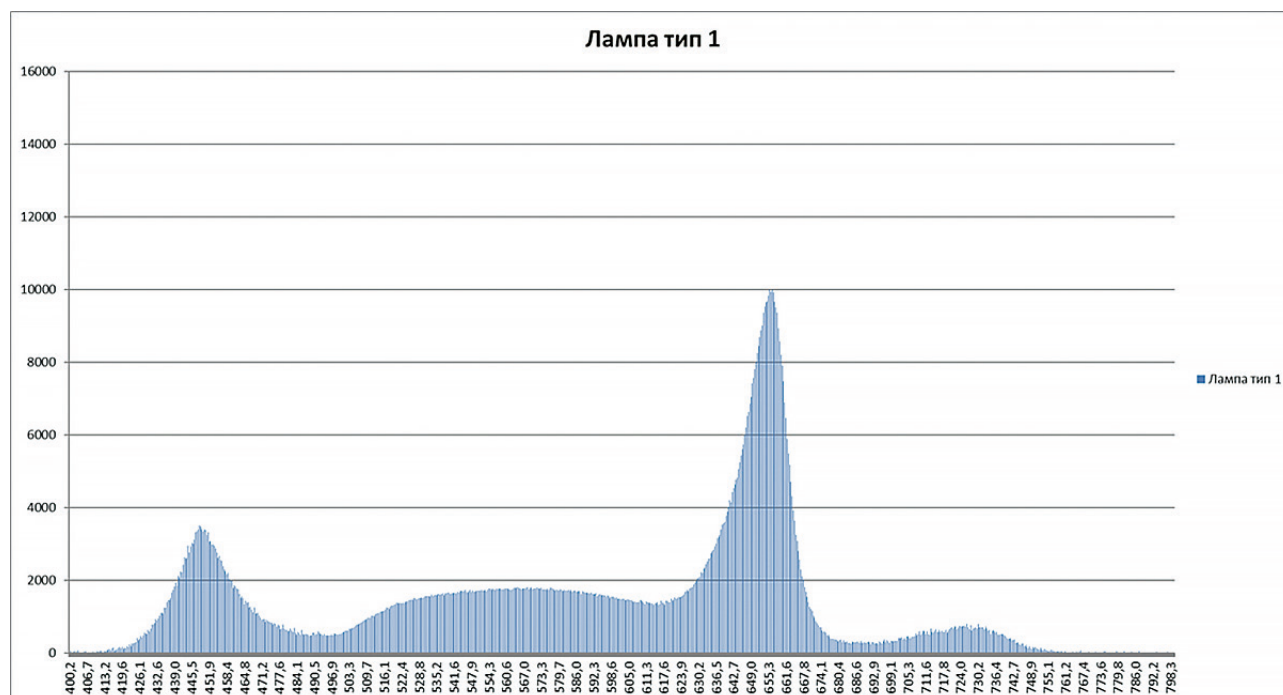


Рис. 2. Спектр светодиодных ламп № 1  
LED Lamp Spectrum No. 1

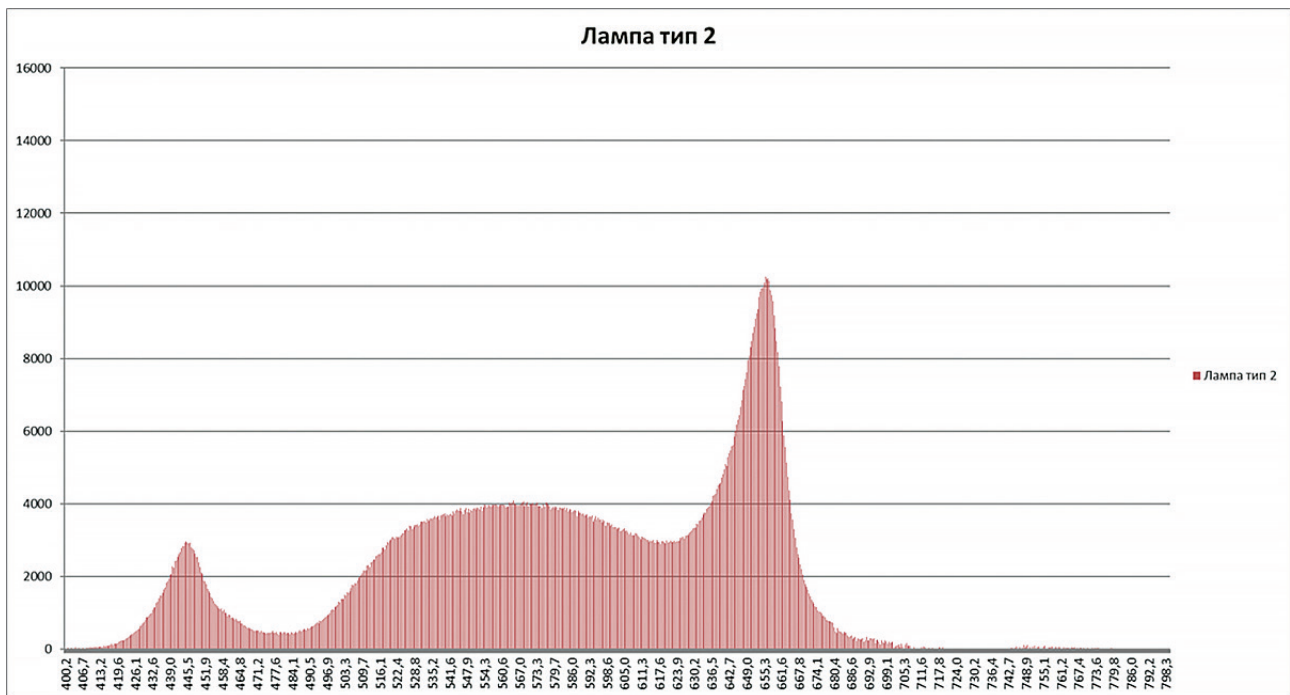


Рис. 3. Спектр светодиодных ламп № 2  
LED Lamp Spectrum No. 2

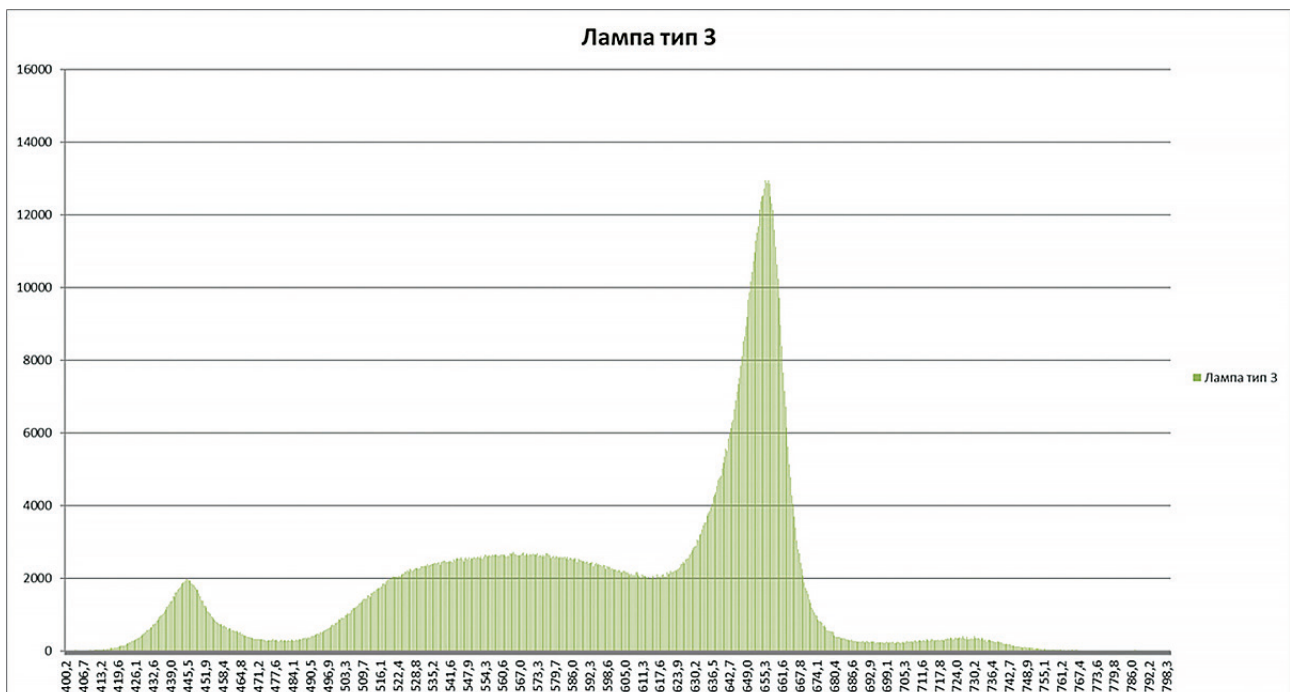


Рис. 4. Спектр светодиодных ламп № 3  
LED Lamp Spectrum No. 3

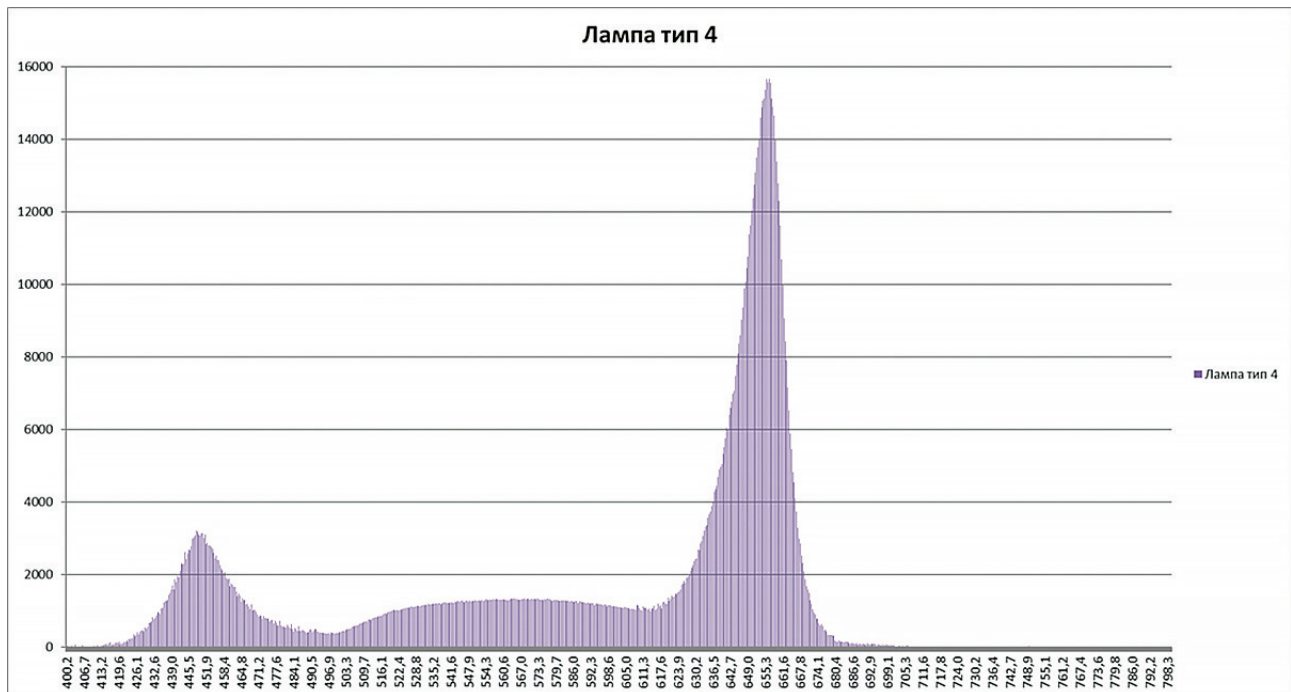


Рис. 5. Спектр светодиодных ламп № 4  
LED Lamp Spectrum No. 4

В течение опыта на 5, 15 и 30 сут проводили измерение показателей, характеризующих развитие растений картофеля на аэрогидропонных установках: длина растения, длина корневой системы, количество листьев.

Высоту измеряли мерной линейкой от основания растения до верхней точки роста. Количество листьев определяли путем пересчета их на одном растении. Массу надземной части и корневой системы определяли путем взвешивания на лабораторных весах.

Продуктивность растений картофеля определяли путем определения среднего количества мини-клубней, полученных с одного растения на основном модуле аэрогидропонной установки с последующей сортировкой на фракции. Морфометрический анализ проводили путем взвешивания чистых и подсушенных мини-клубней картофеля на лабораторных весах в весовой комнате с

последующим занесением полученных данных в лабораторный журнал. В соответствии с полученными результатами мини-клубни разделяли на фракции: самая мелкая (0–1,5 г), мелкая (1,5–4 г), средняя (4–10 г), крупная (>10 г).

Для статистической обработки результатов использовался пакет программ для Windows Statistica 8.0. Для сравнения численных значений показателей использовался непараметрический критерий Манна–Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приживаемость растений картофеля сорта Чароит на аэрогидропонных установках во всех вариантах опыта составила 100 %.

Влияние различных источников освещения на высоту растений картофеля сорта Чароит показано в табл. 2.

Таблица 2

**Высота растений, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**  
**Height of plants grown in aeroponic systems using different light sources**

| Тип освещения | Продолжительность опыта |           |           |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------|
|               | 5 сут                   | 15 сут    | 30 сут    |
| 1             | 2                       | 3         | 4         |
| 1             | 17,2±0,46               | 20,2±0,42 | 27,3±0,50 |

| 1 | 2         | 3         | 4         |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 2 | 18,5±0,43 | 21,2±0,42 | 32,0±0,67 |
| 3 | 16,2±0,62 | 18,5±0,61 | 22,6±0,53 |
| 4 | 16,5±0,37 | 19,7±0,41 | 26,8±0,49 |

Данные таблицы свидетельствуют о том, что высота растений картофеля сорта Чароит спустя 5 сут выращивания в варианте 2 статистически значимо больше, чем в варианте 3 ( $p = 0,0065$ ) и в варианте 4 ( $p = 0,0017$ ). На 15 сут выращивания сохраняется та же закономерность ( $p = 0,0009$  и  $p = 0,044$  соответственно), а также данный показатель в варианте 1 статистически значимо выше, чем в варианте освещения 3 ( $p = 0,0177$ ).

После 30 сут выращивания высота растений в варианте 2 статистически значимо больше, чем в вариантах 1 ( $p = 0,0001$ ), 3 ( $p = 0,0001$ ) и 4 ( $p = 0,0001$ ), а в варианте 3 статистически значимо меньше по сравнению с 1 ( $p = 0,0001$ ) и 4 ( $p = 0,0001$ ) вариантами.

Влияние различных вариантов освещения на количество листьев растений картофеля сорта Чароит отражено в табл. 3.

Таблица 3

**Количество листьев на растениях, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**  
**Leaf count on plants grown in aerohydroponic systems using different light sources**

| Тип освещения | Продолжительность опыта |          |           |
|---------------|-------------------------|----------|-----------|
|               | 5 сут                   | 15 сут   | 30 сут    |
| 1             | 6,2±0,23                | 8,2±0,41 | 14,3±0,35 |
| 2             | 6,6±0,23                | 7,6±0,34 | 14,3±0,41 |
| 3             | 6,3±0,26                | 7,8±0,47 | 14,0±0,36 |
| 4             | 6,1±0,19                | 7,2±0,33 | 14,6±0,35 |

При анализе данных, представленных в табл. 3, выяснено, что на 15 сут развития максимальное количество листьев образовывалось у растений картофеля сорта Чароит, выращиваемых с использованием источников освещения № 1. Данный вариант статистически значимо ( $p = 0,022$ ) отличался от варианта 4. Но на более

поздних сроках развития данный эффект уже не наблюдался и никаких отличий по анализируемому показателю выявлено не было.

Информация о развитии корневой системы растений картофеля, выращиваемых с использованием различных источников освещения, представлена в табл. 4.

Таблица 4

**Длина корневой системы на растениях, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**  
**Root system length of plants grown in aerohydroponic systems using different light sources**

| Тип освещения | Продолжительность опыта |           |           |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------|
|               | 5 сут                   | 15 сут    | 30 сут    |
| 1             | 6,9±0,44                | 22,0±0,58 | 48,9±0,34 |
| 2             | 7,6±0,32                | 23,5±0,45 | 48,7±0,34 |
| 3             | 5,7±0,48                | 18,6±0,94 | 46,9±0,92 |
| 4             | 6,1±0,27                | 21,2±0,79 | 46,1±0,72 |

Показано, что длина корневой системы растений картофеля сорта Чароит спустя 5 сут в варианте света 2 была статистически значимо

больше по сравнению с вариантами 3 ( $p = 0,0013$ ) и 4 ( $p = 0,0004$ ). На 15 сут выращивания растений картофеля источник освещения № 2 сохранил

свои лидерские позиции: данный показатель оказался статистически значимо выше по сравнению с вариантами 3 ( $p = 0,0002$ ) и 4 ( $p = 0,0059$ ). Кроме того, длина корневой системы растений в варианте 3 была статистически значимо меньше в сравнении с 1-м вариантом ( $p = 0,0076$ ). Спустя 30 сут выращивания минимальная длина корневой

системы растений картофеля сорта Чароит наблюдалась в варианте 4, она была статистически значимо меньше по сравнению с вариантами 1 ( $p = 0,0014$ ) и 2 ( $p = 0,0024$ ).

Влияние изучаемых источников освещения на массу надземной части растений картофеля и на их корневую систему показано в табл. 5.

Таблица 5

**Средняя масса надземной части и корневой системы растений, выращенных на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**  
Average weight of the above-ground part and root system of plants grown in aeroponic installations using different light sources

| Тип освещения | Средняя масса корневой системы, г | Средняя масса надземной части, г |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1             | 68,2±5,43                         | 179,4±15,63                      |
| 2             | 86,1±6,72                         | 144,9±11,59                      |
| 3             | 55,4±1,01                         | 134,6±14,66                      |
| 4             | 70,1±5,15                         | 139,2±19,07                      |

Проведенный статистический анализ выявил, что существуют статистически значимые отличия по показателю «средняя масса корневой системы» растений картофеля сорта Чароит варианта 3 с остальными вариантами: в варианте 3 этот показатель ниже ( $p = 0,002$  для варианта 1,  $p = 0,0001$  для варианта 2 и  $p = 0,004$  для варианта 4).

По показателю средней массы надземной части статистически значимых отличий не выявлено.

Характеристика полученного урожая мини-клубней приведена в табл. 6.

Таблица 6

**Характеристики мини-клубней, полученных при выращивании на аэрогидропонных установках с использованием различных источников освещения**  
Characteristics of mini-tubers obtained when grown in aeroponic installations using various light sources

| Тип освещения | Среднее кол-во мини-клубней с одного растения, шт. | Средняя масса одного мини-клубня, г | Максимальная масса одного мини-клубня, г | Минимальная масса одного мини-клубня, г |
|---------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1             | 31,5±0,53                                          | 9,6±0,39                            | 104,60                                   | 0,15                                    |
| 2             | 33,9±0,69                                          | 9,4±0,35                            | 70,66                                    | 0,04                                    |
| 3             | 28,2±0,39                                          | 9,2±0,34                            | 68,22                                    | 0,13                                    |
| 4             | 31,0±0,48                                          | 8,5±0,34                            | 72,57                                    | 0,16                                    |

Как видно из представленных данных, максимальное количество мини-клубней с одного растения картофеля сорта Чароит получено во втором варианте, минимальное – в 3-м варианте. При этом в 3-м варианте данный показатель статистически значимо ниже, чем в варианте 1 ( $p = 0,009$ ), варианте 2 ( $p = 0,0001$ ) и варианте 4 ( $p = 0,0005$ ).

По средней массе одного мини-клубня выявлены статистически значимые различия лишь

между вариантами 3 и 1 ( $p = 0,03$ , в варианте 1 масса выше), а также между вариантами 3 и 4 ( $p = 0,0009$ , в варианте 3 масса выше).

Анализ данных, представленных в табл. 7, показывает, что во всех изучаемых случаях доля фракций, пригодных для дальнейшего семеноводства (средняя и крупная фракции), составляет более 50 %.

**Фракционный состав мини-клубней, полученных при выращивании  
на аэрогидропонных установках с использованием различных источников светодиодного освещения**  
**Fractional composition of mini-tubers obtained during cultivation in aerohydroponic installations using various  
LED lighting sources**

| Тип<br>освещения | Чароит                       |                     |                     |                     |
|------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                  | Самая мелкая<br>(0–1,5 г), % | Мелкая (1,5–4 г), % | Средняя (4–10 г), % | Крупная (> 10 г), % |
| 1                | 27,0                         | 18,4                | 16,2                | 38,4                |
| 2                | 20,8                         | 17,0                | 28,5                | 33,7                |
| 3                | 15,9                         | 17,9                | 29,5                | 36,6                |
| 4                | 26,9                         | 16,9                | 22,4                | 33,8                |

С учетом таких показателей, как среднее количество мини-клубней с одного растения, средняя масса одного мини-клубня и фракционный состав мини-клубней выявлено, что оптимальными из изученных источников освещения для сорта Чароит является источник № 2.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сегодня энергосбережение в закрытых системах выращивания безвирусного картофеля становится одним из приоритетов политики производства. Поэтому в области искусственного освещения и облучения картофеля необходимо

уходить от энергонасыщенных, используемых в настоящее время облучательных установок. Сейчас в области светотехники наиболее экономичными источниками света являются лампы, основанные на светодиодных технологиях.

Полноспектральный светодиод излучает около 17 % света синего спектра и около 65 % света красного спектра, 10 % желто-зеленого. Один из недостатков подобного типа ламп – это высокая стоимость. Но она компенсируется их большей эффективностью, возможностью управления мощностью излучения, равномерным распределением светового потока на всю длину «грядки» (рис. 6).

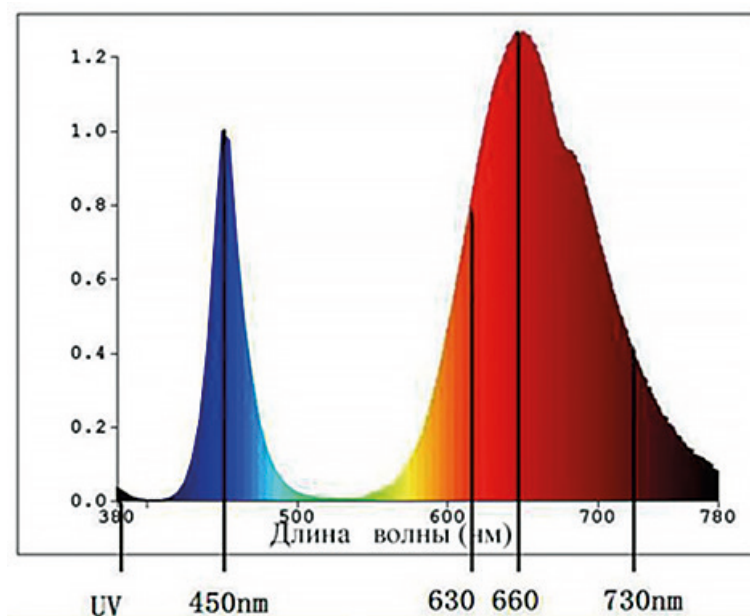


Рис. 6. Спектр полноспектрального светодиода  
Spectrum of a full spectrum LED

Распределение светового потока является равномерным по всей длине, но мощность потока падает с квадратом расстояния и, чтобы при

минимальных затратах энергии иметь необходимые 200–400  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , установка должна быть обеспечена системой регулирования высоты ламп

освещения, что позволит поддерживать необходимый уровень светового потока на всех этапах роста растений без необходимости увеличивать мощность освещения на ранних этапах роста растений. Датчик светового потока при этом позволит получать постоянную обсервацию уровня световой радиации.

Ряд работ посвящен изучению эффектов освещения при выращивании картофеля в условиях гидропоники. Современные исследования подтверждают эффективность целенаправленной оптимизации спектрального состава и применения технологических решений для увеличения урожайности и улучшения качественных характеристик продукции картофелеводства [13–17].

Использование аэрогидропонных установок, в частности, серии «Фагро», позволяет получать высококачественные мини-клубни картофеля. Показана перспективность ее использования для адаптации микрорастений картофеля и для получения мини-клубней сортов Розара, Солнечный, Дочка [18, 19]. Исследования показали, что количественный выход мини-клубней картофеля на одно растение составил у сорта Розара 46,9 шт., Солнечный – 56,7 шт.

Рядом авторов рассматриваются особенности автоматического контроля микроклимата, динамика роста растений и количественная оценка урожая. Приводится сравнительный анализ с традиционными методами выращивания картофеля и отмечаются экономические выгоды нового подхода [20–27].

Нами изучено влияние различных источников освещения на следующие морфометрические параметры развития растений картофеля сорта

Чароит при выращивании на аэрогидропонных установках: высота растений, количество листьев, длина корневой системы, средняя масса надземной части и корневой системы. Установлено влияние различных источников освещения на среднее количество мини-клубней с одного растения, среднюю массу одного мини-клубня, максимальную и минимальную массу мини-клубней и фракционный состав мини-клубней при выращивании растений картофеля сорта Чароит аэрогидропонным способом. При культивировании растений картофеля аэрогидропонным способом рекомендовано использовать тип освещения для сорта Чароит. Результаты данной работы позволят оптимизировать семеноводческий процесс картофеля.

## ВЫВОДЫ

1. Наблюдалось статистически значимое увеличение высоты растений, выращиваемых с использованием диодных источников освещения типа 2.
2. Анализ продуктивности показал, что максимальное количество мини-клубней с одного растения было получено на 2-м типе освещения.
3. В урожае мини-клубней доля фракций, пригодных для дальнейшего семеноводства, составляет более 50 % при использовании на аэрогидропонных установках всех изучаемых типов освещения.
4. Для получения кондиционных мини-клубней рекомендуется использовать диодное освещение типа 2.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галеев Р.Р. Потенциал продуктивности сортов картофеля в Западно-Сибирском регионе // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 45–51.
2. Галеев Р.Р., Шульга М.С. Эффективность элементов адаптивной технологии ускоренного семеноводства безвирусного картофеля в северной лесостепи Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2014. – № 4 (33). – С. 28–33.
3. Аникина И.Н., Хутинаев О.С., Султумбаева А.К. Аэропоника как фактор повышения коэффициента размножения меристемного картофеля // European science. – 2017. – № 6 (28). – С. 40–44.
4. Анализ сортовых различий растений-регенерантов картофеля *in vitro* при использовании светодиодных светильников / Т.В. Никонович, Т.В. Кардис, А.В. Кильчевский [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1. – С. 73–78.
5. Действие светодиодного облучения разного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro* / Ю.Ц. Мартиросян, Т.А. Диловарова, В.В. Мартиросян [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 5. – С. 680–687.
6. Оптимизация освещения микрорастений картофеля *in vitro* с использованием светодиодных источников / А.Л. Бакунов, Н.Н. Дмитриева, А.В. Милёхин, С.Л. Рубцов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 85–91.

7. *Изучение влияния различных видов освещения на рост и развитие оздоровленных растений картофеля сорта Антонина* / Е.В. Хаксар, А.И. Манукян, М.С. Романова [и др.] // Молодежный Научный вестник. – 2017. – № 11 (24). – С. 83–89.
8. *Шанина Е.П., Стафеева М.А., Ковалёв А.Н.* Сорт картофеля Люкс: перспективы получения качественного оригинального материала с высоким количественным выходом мини-клубней в аэрогидропонном модуле // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 3 (23). – С. 100–105.
9. *Интенсивность морфогенеза регенерантов картофеля при использовании освещения различного спектрального состава* / А.Л. Бакунов, С.Л. Рубцов, А.В. Милехин, Н.Н. Дмитриева // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 7 (208). – С. 3–12.
10. *Романова М.С., Хаксар Е.В., Манукян А.И.* Разработка способов выращивания оздоровленных микрорастений картофеля сорта Солнечный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2025. – Т. 55, № 2 (315). – С. 25–34.
11. *Булгаков В.П.* Исследование воздействия мультиспектрального динамического освещения на отклик световой сигнальной системы растений // Отчет о НИР № 20-16-00016. Российский научный фонд. – 2021.
12. *Козлов А.В., Нетёсов С.В., Ренев Н.О.* Анализ показателей влияния искусственного освещения на рост и развитие меристемных растений *Solanum tuberosum* L. сорта Розара // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (88). – С. 126–129.
13. *Иванов Н.А., Михайлов М.В., Захаров Г.Н.* Особенности дозированного освещения при возделывании картофеля в защищенном грунте // Картофель и овощи. – 2021. – № 3. – С. 17–21.
14. *Тимофеева Т.И., Ступин Д.С.* Применение комбинированных систем освещения в овощеводстве защищённого грунта // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. – 2022. – Т. 45, Вып. 3. – С. 134–142.
15. *Казаков А.М., Скворцов Ф.П.* Анализ последствий чрезмерного воздействия синих спектральных компонентов на рост картофеля // Вестник сельскохозяйственной науки Сибири. – 2023. – № 1. – С. 34–40.
16. *Николаев Б.Д., Петров О.К.* Биостимулирующее действие ультрафиолетового излучения на иммунитет растений картофеля // Агрохимический вестник. – 2024. – № 2. – С. 48–53.
17. *Семенов В.Г., Козлов Я.Е.* Оптимизация режимов фотопериодического освещения для повышения продуктивности картофеля в автоматизированных теплицах // Инновации в сельском хозяйстве. – 2025. – № 1. – С. 67–74.
18. *Al Shrouf Ali.* Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming // Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci. – 2017. – P. 247–255.
19. *Влияние различных водорастворимых удобрений на продуктивность растений картофеля сорта Дочка в условиях аэропоники* / О.О. Новиков, М.С. Романова, Е.В. Хаксар [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. – 2023. – № 4 (42). – С. 174–181.
20. *Получение качественного семенного материала картофеля на аэрогидропонных установках* / Е.В. Хаксар, М.С. Романова, О.О. Новиков [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2019. – Т. 49, № 6. – С. 16–22.
21. *Malko A.M.* Technological process for the production of original, elite and reproductive seed potatoes // Practical guide. – Moscow, 2017. – P. 64.
22. *Nuriddinov Ya.A., Tobolova G.V.* Microclonal propagation of potatoes // Actual issues of science and economy: 118 new challenges and solutions. Collection of materials of the LII International student scientific-practical conference. – 2018. – P. 150–153.
23. *Барсукова Е.Н., Чибизова А.С.* Влияние спектра светодиодного освещения на процесс микроклонального размножения безвирусных растений картофеля разных сортов // Аграрный вестник Приморья. – 2019. – № 1 (13). – С. 18–22.
24. *Campos H., Ortiz O.* The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. Cham: Springer Nature. – 2020. – P. 518.
25. *Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring)* / А.Н. Calori, T.L. Factor, J.C. Feltran [et al.] // Bragantia. – 2017. – № 76 (1). – P. 23–32.
26. *Интенсивность морфогенеза регенерантов картофеля при использовании освещения различного спектрального состава* / А.Л. Бакунов, С.Л. Рубцов, А.В. Милехин, Н.Н. Дмитриева // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 7 (208). – С. 3–12.
27. *Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers* / E. Ritter, B. Angulo, P. Riga [et al.] // Potato Research. – 2001. – № 44 (2). – P. 127–135.

## REFERENCES

1. Galeev R.R., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoy nauki*, 2015, No. 5, pp. 45–51. (In Russ.)
2. Galeev R.R., Shul'ga M.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2014, No. 4 (33), pp. 28–33. (In Russ.)

3. Anikina I.N., Khutinayev O.S., Sultanbaeva A.K., *European science*, 2017, No. 6 (28), pp. 40–44. (In Russ.)
4. Nikonovich T.V., Kardis T.V., Kilchevsky A.V., Filipenia V.L., Chizhik O.V., Trofimov Yu.V., Tsvirko V.I., Kerzhoytsik E.V., *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2018, No. 1, pp. 73–78. (In Russ.)
5. Martirosyan Y.Ts., Diloarova T.A., Martirosyan V.V., Kreslavskiy V.D., Kosobryukhov A.A., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2016, T. 51, No. 5, pp. 680–687. (In Russ.)
6. Bakunov A.L., Dmitrieva N.N., Milekhin A.V., Rubtsov S.L., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 6 (92), pp. 85–91. (In Russ.)
7. Khaksar E.V., Manukyan A.I., Romanova M.S., Leonova N.I., Semenov A.G., Martynov M.S., *Molodezhny nauchnyy vestnik*, 2017, No. 11 (24), pp. 83–89. (In Russ.)
8. Shanina E.P., Stafeeva M.A., Kovalëv A.N., *Permsky agrarnyy vestnik*, 2018, No. 3 (23), pp. 100–105. (In Russ.)
9. Bakunov A.L., Rubtsov S.L., Milekhin A.V., Dmitrieva N.N., *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 7 (208), pp. 3–12. (In Russ.)
10. Romanova M.S., Khaksar E.V., Manukyan A.I., *Sibirskiy vestnik sel'skohozyaystvennoy nauki*, 2025, T. 55, No. 2 (315), pp. 25–34. (In Russ.)
11. Bulgakov V.P., *Otchet o NIR № 20-16-00016. Rossiyskiy fond nauchnykh issledovaniy* (Research Report No. 20-16-00016. Russian Science Foundation), 2021. (In Russ.)
12. Kozlov A.V., Netesov S.V., Renev N.O., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 2 (88), pp. 126–129. (In Russ.)
13. Ivanov N.A., Mikhaylov M.V., Zakharov G.N., *Kartofel' i ovoshchi*, 2021, No. 3, pp. 17–21. (In Russ.)
14. Timofeyeva T.I., Stupin D.S., *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2022, Tom 45, Vyp. 3, pp. 134–142. (In Russ.)
15. Kazakov A.M., Skvortsov F.P., *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Sibiri*, 2023, No. 1, pp. 34–40. (In Russ.)
16. Nikolaev B.D., Petrov O.K., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2024, No. 2, pp. 48–53. (In Russ.)
17. Semenov V.G., Kozlov Ye.E., *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2025, No. 1, pp. 67–74. (In Russ.)
18. Al-Shrouf Ali., Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming, *American Scientific Research Journal of Engineering, Technology & Sciences*, 2017, pp. 247–255.
19. Novikov O.O., Romanova M.S., Khaksar E.V., Kosinova E.I., Chudinova Yu.V., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2023, No. 4 (42), pp. 174–181. (In Russ.)
20. Khaksar E.V., Romanova M.S., Novikov O.O., Leonova N.I., Romashev G.A., *Sibirskiy vestnik sel'skohozyaystvennoy nauki*, 2019, T. 49, No. 6, pp. 16–22. (In Russ.)
21. Malko A.M., *Tekhnologicheskii protsess dlya proizvodstva original'nogo, elitnogo i reproduksionnogo semennogo kartofelya* (Technological process for the production of original, elite and reproductive seed potatoes), *Prakticheskoe rukovodstvo*, Moskva, 2017, 64 p.
22. Nuriddinov Ya.A., Tobolova G.V., Mikroklonal'noye razmnozheniye kartofelya, Aktual'nyye problemy nauki i ekonomiki: novye vyzovy i resheniya, *Collection of materials of the LII Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*, 2018, pp. 150–153.
23. Barsukova E.N., Chibizova A.S., *Agrarnyy vestnik Primorya*, 2019, No. 1 (13), pp. 18–22. (In Russ.)
24. Campos H., Ortiz O., The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humanity, *Cham: Springer Nature*, 2020, 518 p.
25. Calori A.H., Factor T.L., Feltran J.C., Watanabe E.Y., de Moraes C.C., Purquerio L.F., Electrical Conductivity of the Nutrient Solution and Plant Density in Aeroponic Production of Seed Potato Under Tropical Conditions (Winter/Spring), *Bragantia*, 2017, No. 76 (1), pp. 23–32.
26. Bakunov A.L., Rubtsov S.L., Milekhin A.V., Dmitrieva N.N., *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 7 (208), pp. 3–12. (In Russ.)
27. Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Relloso J., San José Ritter M., Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers, *Potato research*, 2001, No. 44 (2), pp. 127–135.

#### Информация об авторах:

М.С. Романова, кандидат биологических наук, зам. директора по НИР

Е.В. Хаксар, научный сотрудник

Ю.В. Чудинова, доктор биологических наук

О.Н. Колбина, аспирант

#### Contribution of the authors:

M.S. Romanova, PhD in Biology, Deputy Director for Research

E.V. Khaksar, Researcher

Yu.V. Chudinova, Doctor of Biological Sciences

O.N. Kolbina, Postgraduate Student

#### Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.