



**РАЗРАБОТКА ФИТОЛАМП С РЕГУЛИРУЕМЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

**А.А. Можайко<sup>1</sup>, В.В. Давыдов<sup>1</sup>, В.Ю. Рудь<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,  
ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия*

<sup>2</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,  
ул. Институт, 5-а, Московская обл., 143050, Россия*

**e-mail:** annaanna-1996@mail.ru

Уменьшение посевных площадей и увеличение городов привело к поиску новых способов выращивания растений, особенно овощей. В подобных условиях важна разработка технологий, сочетающих в себе увеличение продуктивности выращиваемых культур и экологичность. Самый распространенный способ - использовать теплицы. Это требует много света, увеличивая общее энергопотребление [1]. Для снижения энергозатрат используется искусственное освещение, производимое с помощью светодиодов. Использование светодиодов для биологических процессов имеет важные преимущества перед другими существующими источниками искусственного освещения. Светодиоды обладают более высокой квантовой эффективностью, более длительным сроком службы, контролируемым спектром излучения, более безопасными процедурами обращения и утилизации, а также они безвредны для окружающей среды [2].

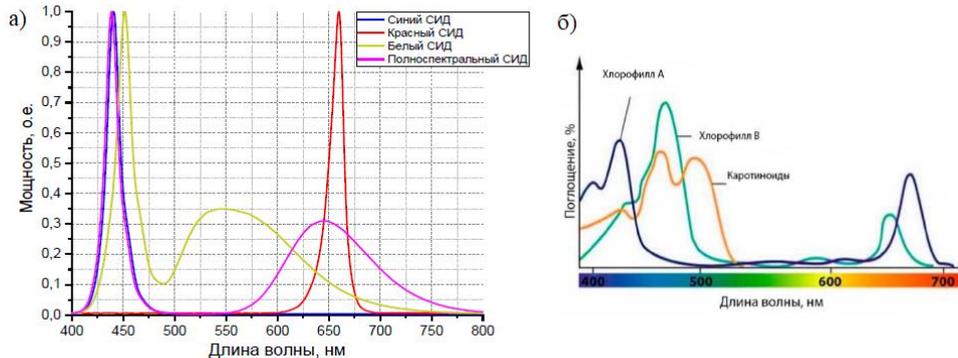
Светодиод представляет собой тип полупроводникового диода, который позволяет регулировать спектральный состав и тем самым адаптацию фоторецепторов растений к интенсивности света, чтобы обеспечить лучший рост и влиять на морфологию растений, а также на различные физиологические процессы, такие как цветение и эффективность фотосинтеза. Светодиоды способны создавать высокий световой поток с низкой выходной излучаемой теплотой и сохранять эффективность светового потока в течение многих лет. Срок службы люминесцентных ламп составляет порядка 20000 часов, для ламп накаливания он составляет всего 1000 часов, в то время как срок службы светодиодов составляет порядка 30000 – 50000 ч и даже больше. Из-за низкой выработки лучистого тепла светодиоды могут быть расположены рядом с растениями.

Светодиодные источники излучения для освещения сельскохозяйственных культур имеют три основных подхода к получению требуемых спектров: первый – набор монохроматических светодиодов, второй - смешанный спектр светодиодов с использованием люминофоров (полноспектральный светодиод для растений) и третий – белый светодиод с люминофором (рисунок 1а).

Согласно спектру поглощения хлорофилла (рисунок 1б), синий свет и красный свет являются важными компонентами для эффективного протекания процесса фотосинтеза. Тем не менее, некоторые другие длины волн также способствуют росту растений: зеленый свет

наравне с красным и синим светом может участвовать в ходе синтеза пигментов, способных окрашивать растения, а также может использоваться для освещения нижних листьев, тем самым увеличивая скорость фотосинтеза нижних листьев.

Поглощение света хлорофиллом - А сосредоточено около 440 нм и около 660 нм, а хлорофилла – В - около 460 нм и около 650 нм. Каждое растение имеет различное соотношение хлорофилла А, В и каротиноидов, что свидетельствует о том, что для определения наиболее эффективного спектрального состава излучения для конкретного растения необходимо опираться на это соотношение. Правильно подобранный спектральный состав может стимулировать оба хлорофилла и увеличит урожай растений [3].



**Рисунок 1. а) Сравнение спектров монохроматических светодиодов, белого и полноспектрального светодиодов с люминофором; б) Спектры поглощения основных пигментов зеленых растений.**

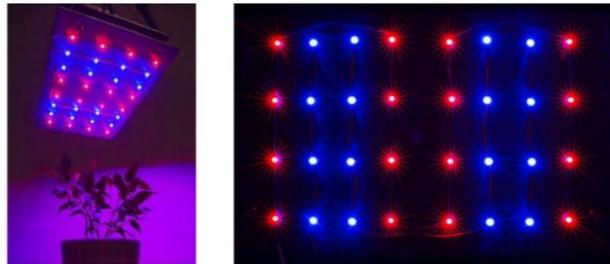
Целью данной работы является разработка светодиодной многоволновой фитолампы с регулируемым спектральным составом излучения, поскольку выращивание растений в теплицах особенно актуально для многих районов Земли, имеющих недостаточный уровень инсоляции. В подобных условиях возникает недостаток света для растений. Во всем мире проводятся исследования по улучшению скорости роста растений и увеличения урожайности с использованием искусственных источников света [4]. Разрабатываемая светодиодная лампа позволит добиться оптимального спектрального состава облучения и наименьших энергозатрат при ее использовании.

Для исследования влияния досветки различного спектрального состава на развитие культур были выбраны как монохроматические (синий 440 нм, красный 660 нм), так и люминофорные (белый 6000 К, полноспектральный СИД (светоизлучающий диод) для растений 400 – 800 нм) светодиоды. В соответствии с требуемыми параметрами света при проращивании листовых овощей была разработана растильня с боксами, которая освещалась излучением различного спектрального состава.

Было выявлено, что для ускорения роста базилика требуется: PPFД (фотосинтетически активная радиация) – не менее 150 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с); на 1-й день проращивания освещение не требуется; со 2-го по 4-й день необходимо освещение СИД 660 нм (К); с 4-го дня ускорение наблюдалось при освещении 30%К/70% синего (С) 440 нм. Для ускорения роста мяты: PPFД – не менее 150 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с); проращивание с 1-го по 5-й день не требует дополнительного освещения; с 6-го по 20-й день необходимо освещение 30%К/70%С. Для ускорения роста томатов: PPFД – не менее 250 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с); с 1-го по 10-й день активный рост наблюдался при освещении 100%К. С 11-го по 18-й день требовалось 70%К/30%С. Для наилучшего роста огурцов: PPFД – не менее 250 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с); с 1-го по 3-й день тип освещения не влиял на рост; с 3-го по 7-й день ускорение роста наблюдалось при облучении 100%С. С 7-го по 18-й день – при освещении 70%С/30%К.

На основании полученных данных по выращиванию некоторых культур было выявлено, что для повышения роста растений необходимы два вида светодиодов в различных соотношениях плотности фотосинтетического потока фотонов на разных стадиях развития – синие 440 нм и красные 660 нм. Была разработана светодиодная лампа, которая содержит 16 синих светодиодов 440 нм и 16 красных 660 нм. Лампа содержит два диммируемых программируемых светодиодных драйвера: MOSO LDP – 105M062 и MOSO LUP – 120M062. Они включают три функции димминга, спроектированы с программируемой и постоянной мощностью, с возможностью настройки выходного тока.

Разработанная фитолампа с регулируемым спектральным составом излучения (рисунок 2) рассчитана для работы в сетях переменного тока напряжением 220 В.



**Рисунок 2. Разработанная фитолампа с регулируемым спектральным составом излучения**

В результате работы на основе полученных спектрально-энергетических и температурных характеристик СИД была создана установка для выращивания сельскохозяйственных культур со светодиодным освещением различного спектрального состава. Были исследованы основные параметры роста базилика сорта «Карамельный», мяты сорта «Лимонная», томатов сорта «Балконное чудо», огурцов сорта «Гармонист F1». В ходе выращивания были рассчитаны основные показатели роста культур: энергия прорастания, всхожесть, появление первичных листьев, средняя и максимальная длины hypocotyl и корней.

Были выявлены оптимальные параметры излучения, способствующие ускорению выбранных модельных культур. На основании полученных результатов была разработана светодиодная многоволновая фитолампа с регулируемым составом излучения, включающая синие 440 нм и красные 660 нм светодиоды. В лампе была реализована возможность изменения спектрального состава излучения на разных этапах роста, благодаря чему, в соответствии с полученными данными развития культур, можно изменять параметры света.

#### **Литература:**

1. V. Yushkova, G. Kostin, R. Davydov, V. Dudkin, and L. Valiullin, The development of small and medium-sized businesses, as the basis for a balanced development of agriculture in Russia, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 390, No. 1, 012016, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/390/1/012016
2. A. Moroz, A. Cheremisin, A. Meshalkin, and N. Semenova, On the possibility of growing vegetables and fruits on the lunar base, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 578, No. 1, 012006, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/578/1/012006
3. M. Lazzarin, M. Meisenburg, D. Meijer, W. van Ieperen, L.F.M. Marcelis, I.F. Kappers, A.R. van der Krol, J.J.A. van Loon, M. Dicke, LEDs Make It Resilient: Effects on Plant Growth and Defense, *Trends in Plant Science*, Vol. 26, No. 5, pp. 496-508, 2021, doi: 10.1016/j.tplants.2020.11.013
4. E.S.P. Yap, A. Uthairatanakij, N. Laohakunjit, P. Jitareerat, A. Vaswani, A. A. Magana, J. Morre, C. S. Maier, Plant growth and metabolic changes in ‘Super Hot’ chili fruit (*Capsicum annum*) exposed to supplemental LED lights, *Plant Science*, Vol. 305, 110826, 2021, doi: 10.1016/j.plantsci.2021.110826