

## ФИТОТЕХКОМПЛЕКСЫ В РОССИИ: ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ В МЕСТАХ ПРОЖИВАНИЯ И РАБОТЫ НАСЕЛЕНИЯ

*Обоснована возможность создания и широкого применения наукоемких фитотехкомплексов, выполняющих ресурсосберегающее круглогодичное интенсивное производство растительной продукции высокого качества при искусственном освещении. Технические и агробиологические испытания созданного вегетационно-облучательного оборудования различного типа для фитотехкомплексов показали высокую эффективность реализуемых в них методов организации световой, корнеобитаемой сред и ресурсосберегающих агротехнологий для круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции.*

### **Ключевые слова:**

*вегетационно-облучательное оборудование, высококачественная растительная продукция, осветительные устройства, растениеводство, ресурсосберегающие агротехнологии, светокультура, фитотехкомплексы.*

---

Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судаков В.Л. Фитотехкомплексы в России: основы создания и перспективы использования для круглогодичного получения качественной растительной продукции в местах проживания и работы населения // Общество. Среда. Развитие. – 2015, № 4. – С. 196–203.

- © Панова Гаянэ Геннадьевна – кандидат биологических наук, заведующая отделом, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: gaiane@inbox.ru, office@agrophys.ru
- © Черноусов Игорь Николаевич – кандидат технических наук, инженер 1 категории, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: ig-cher@yandex.ru, office@agrophys.ru
- © Удалова Ольга Рудольфовна – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая сектором, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: raes@agrophys.ru, office@agrophys.ru
- © Александров Алексей Владимирович – ведущий инженер, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: marvar@yandex.ru, office@agrophys.ru
- © Карманов Игнатий Владимирович – кандидат технических наук, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: karmanovs@bk.ru, office@agrophys.ru
- © Аникина Людмила Матвеевна – кандидат биологических наук, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: lanikina@yandex.ru, office@agrophys.ru
- © Судаков Виталий Леонидович – кандидат физико-математических наук, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: suvitaliy@yandex.ru, office@agrophys.ru

Проблема обеспечения населения нашей страны качественными продуктами питания, в том числе растительного происхождения, остается весьма актуальной и требует решения комплекса задач в области АПК с привлечением научного потенциала профильных научно-исследовательских учреждений. Так, по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации обеспечение свежей овощной продукцией благодаря имеющимся в стране культивационным сооружениям защищенного грунта может составить только 20–30% от медицинского норматива потребления свежих тепличных овощей на одного человека в год [38]. Это обусловлено существенным сокращением (на 60% и более) площади тепличного грунта к 2011 году по сравнению с таковым в 1990 году [37]. Причины – банкротство и ликвидация тепличных комбинатов; нерентабельность

производства в действующих тепличных комплексах, связанная с высокими затратами на тепло- и энергоресурсы, на ремонт и реконструкцию сооружений.

Существует еще одна серьезная проблема – высокая зависимость современных отечественных тепличных предприятий от импортных поставок комплектующих и расходных материалов для применяемых в производственном цикле зарубежных технологий, а также семенного материала сортов и гибридов овощных культур, отселектированных под данные технологии выращивания.

Для решения указанных проблем в отрасли растениеводства защищенного грунта необходимо провести существенную модернизацию материально-технической базы, разработать и внедрить новые технологии интенсивного, экологически безопасного, энерго- и ресурсосберегающего

производства растительной продукции высокого качества [7].

Строительство новых и модернизация существующих тепличных сооружений требует времени и больших капиталовложений. В связи с этим наряду с восстановлением требуемого количества тепличных сооружений защищенного грунта, возрождением и развитием отечественных селекционно-семеноводческих центров актуальным и перспективным становится разработка и широкое применение наукоемких автоматизированных комплексов по интенсивному ресурсосберегающему производству растительной продукции высокого качества при полностью искусственном освещении (фитотехкомплексов) в непосредственной близости от потребителя, а именно: в имеющихся у организаций свободных помещениях, в том числе чердачного и подвального типа, или в специализированных сооружениях ангарного типа (стационарный тип); в морских контейнерах, бытовках, вагонах и других компактных сооружениях (мобильный тип) [15; 17]. Размеры таких комплексов могут колебаться от нескольких тысяч до нескольких десятков квадратных метров (минифитотехкомплексы). Это позволит постоянно обеспечивать потребности людей в свежей качественной витаминной продукции без затрат на ее доставку и хранение. Потребность в таких комплексах особенно высока в регионах с суровыми природно-климатическими условиями, зонах экологического риска и труднодоступных для транспорта местах проживания, где невозможно или крайне нерентабельно организовать тепличное производство растительной продукции.

Фитотехкомплексы представляют собой совокупность оригинального энергоэкономичного вегетационно-облучательного оборудования различных модификаций с реализованными в нем методами направленного формирования световой и корнеобитаемой среды для оптимизации роста и развития растений, а также ресурсосберегающих агротехнологий непрерывного производства растительной продукции, информационно-измерительной аппаратуры для мониторинга физиологического состояния растений и параметров микроклимата в производственных помещениях с микроклиматическим оборудованием, обеспечивающим требуемые режимы температуры, влажности, газового состава, циркуляции, вентиляции воздуха.

В настоящее время в нашей стране нет публикаций о проработанных предло-

жениях по организации промышленного производства растительной продукции при полностью искусственном освещении. Предлагаемые условные отечественные аналоги вегетационного оборудования – светоустановки (ГОУВРИ, Фитопирамида и другие) рассчитаны на малый объем производства или производство в рамках тепличных комплексов, имеют технические и технологические недостатки в организации корнеобитаемой и/или световой среды [17].

За рубежом проекты комплексов или «овощных фабрик» по промышленному производству растительной продукции при искусственном освещении к настоящему времени активно разрабатываются и находят применение [42–44; 49 и др.]. Так, в Японии работают уже более 40 коммерческих растениеводческих предприятий, выращивающих зеленые культуры и рассаду на многоярусных стеллажах в помещениях при полностью искусственном освещении. Источниками света служат светодиоды или люминесцентные лампы [42–45; 47; 49]. В числе недостатков анонсируемых японских разработок – ограниченность ассортимента выращиваемых культур и невысокое качество производимой продукции, обусловленное высоким содержанием нитратов и их производных в связи с выращиванием растений на минеральных растворах при низкоинтенсивном свете. ПДК на содержание нитратов в овощной продукции в Японии и других странах в несколько раз выше, чем в России [14]. При реализации в России проектов строительства «заводов зеленых растений», активно предлагаемых в последние годы рядом японских компаний, существует высокий риск, что производимая по японским технологиям овощная продукция по своему биохимическому составу не будет соответствовать требованиям российских медицинских нормативов.

Сравнительный анализ имеющейся информации об условных зарубежных аналогах оборудования для производства растительной продукции при полностью искусственном освещении свидетельствует о том, что предлагаемые нами разработки по своим техническим и технологическим характеристикам соответствуют мировому уровню и, по нашим прогнозам, по производительности, надежности, качеству растительной продукции и ценовым показателям будут отличаться в лучшую сторону.

Цель работы – обоснование возможности создания и широкого внедрения в РФ

фитотехкомплексов по круглогодичному интенсивному ресурсосберегающему производству высококачественной растительной продукции в любых помещениях и сооружениях, оснащенных системами водо-, электро и тепло снабжения.

Основой для создания в нашей стране в ближайшем будущем наукоемких и высокоэффективных фитотехкомплексов служат разработанные в Агрофизическом институте: методология формирования световой, воздушной и корнеобитаемой среды растений в регулируемой агроэкосистеме; автоматизированное вегетационно-облучательное оборудование различного типа с технологическим обеспечением для исследовательских целей и для круглогодичного непрерывного производства качественной растительной продукции; биофизические методы и технические средства для диагностики физиологического состояния вегетирующих растений и мониторинга параметров среды их обитания, экспресс-оценки качества семян; приемы и средства оперативного управления продукционным, адаптационным процессом растений, качеством растительной продукции с помощью биологически активных препаратов с фитопротекторными свойствами; постоянно пополняемый реестр овощных, лекарственных и декоративных культур, дающих высокие урожаи качественной продукции при реализации разработанной технологии их производства на вегетационно-облучательном оборудовании [17]. Перечисленные разработки – результат накопленных знаний и опыта на протяжении многолетних исследований сотрудниками института под руководством академика РАСХН Е.И. Ермакова особенностей реализации продукционного и адаптационного потенциала растений в моделируемых условиях световой, корнеобитаемой и воздушной среды [8; 16; 33]. Предложенная Е.И. Ермаковым в 1964 г. и реализованная впоследствии идея выращивания растений без почвы – на тонкослойных аналогах почвы с циркулирующим питательным раствором легла в основу созданных систем выращивания растений для сооружений защищенного грунта – аэрогидролитопоники, гидропоники, агрегатопоники и панопоники [9]. Стоящий у истоков современной зарубежной гидропоники А. Купер (1973) предложил только через 7 лет гидропонный метод выращивания растений [41], при котором корни размещаются на пленке с протекающим тонким слоем питательного раствора (Nutrient Film Technik – NFT). Данный

метод является основой современных голландских технологий в производственных тепличных сооружениях. Он уступает аэрогидролитопонному методу по степени комфортности условий жизнеобеспечения корней и надежности, но технологически более прост и менее затратен, что является, очевидно, основной причиной его широкого распространения [10].

Вегетационно-облучательное оборудование фитотехкомплексов представляет собой автономные автоматизированные устройства различного типа. В нем учтены новейшие разработки в области агросветотехники и автоматизации агротехнологий, предложены оригинальные технические решения организации световой и корнеобитаемой среды растений, позволяющие повысить эффективность использования ими лучистого потока и снизить затраты энергии и ресурсов на единицу производимой продукции. Реализованные в оборудовании технические решения обладают новизной и защищены патентоохранными документами [20; 22; 23]. Исследование патентной информации свидетельствует о соответствии научно-технического уровня указанных разработок мировым тенденциям развития отрасли сельского хозяйства. Имеющиеся защищенные патентоохранными документами РФ функционально аналогичные устройства для выращивания растений [24–31], отличаются сложностью конструкции, несовершенством организации световой и корнеобитаемой среды, что не позволяет поддерживать оптимальные условия для роста и развития растений на протяжении всего периода их вегетации; увеличивает затраты энергии и ресурсов на получение единицы растительной продукции.

Приемы формирования световой среды растений основаны на использовании энергоэкономичных световых блоков, включающих источники света, электронную пуско-регулирующую аппаратуру и средства пространственного перераспределения светового потока [17; 39]. Так, например, для светолюбивых овощных культур средняя облученность, создаваемая источниками света на полезной площади установок, составляет  $\approx 65\text{--}90 \text{ Вт/м}^2$  в области фотосинтетически активной радиации (ФАР), коэффициент равномерности облученности  $\approx 0,55\text{--}0,75$ .

В фитотехкомплексах реализована возможность оптимизации продукционного процесса растений и улучшения качества растительной продукции посредством варьирования на протяжении вегетации

растений спектрального состава света и интенсивности облучения, условий в корнеобитаемой среде, параметров микроклимата, а также применения биологически активных препаратов различного функционального назначения.

Вопросы оптимизации спектра и интенсивности ФАР в продукционном процессе растений на разных этапах их вегетации, изучения возможностей использования света разного спектрального состава в организации направленного биосинтеза биологически ценных соединений различного назначения остаются малоизученными и весьма актуальными. При этом важным аспектом исследований является поиск и обоснование возможности снижения затрат электроэнергии на единицу производимой продукции, которые при реализации интенсивной светокультуры составляют более 40% [42–44; 46; 49]. Подобные исследования следует проводить при соблюдении единых методик в контролируемых условиях среды [35; 36].

Наиболее перспективными источниками света, позволяющими изучать влияние излучения отдельных спектральных областей ФАР и их дозированных сочетаний на те или иные стороны продукционного процесса, являются светодиоды, обладающие узким спектром излучения в определенной полосе ФАР и испускающие достаточный поток квантов для осуществления фотосинтетической функции растения [13; 36]. По сравнению с используемыми в настоящее время осветителями – газоразрядными и металлогалогенными лампами – светодиоды обладают рядом технических преимуществ, а именно: характеризуются длительным сроком службы, мгновенным включением, стабильным спектром излучения, низкой долей инфракрасной составляющей в спектре [36]. Благодаря этому светодиоды стали рассматривать как перспективный источник освещения для светокультуры растений [6; 13; 34; 40; 48]. Однако при практическом применении разработанных и разрабатываемых светильников на основе светодиодов исследователи столкнулись с проблемой снижения продуктивности и качества выращиваемой растительной продукции [1; 2; 12; 34]. В результате, по мнению специалистов из МГУ и ГНЦ РФ Института медико-биологических проблем РАН, данных, накопленных к настоящему времени о действии узкополосного спектрального состава света на рост и продуктивность растений, недостаточно для создания светодиодного светильника для светокультуры с оптимальным спек-

тром. Для создания светодиодных светильников, обеспечивающих адекватные условия освещения растений, необходимо дальнейшее исследование физиологических эффектов узкополосного освещения с учетом энергетической и регуляторной роли различных спектральных составляющих освещения, а также видоспецифичности реакций растений на изменение спектрального состава света.

Специалистами в области микроэлектроники и субмикронных гетероструктур из НТЦ «Микроэлектроника» РАН были разработаны мощные высокоэффективные полупроводниковые источники света на основе наногетероструктур, обладающие широким спектральным диапазоном излучения, достаточной оптической мощностью и при этом возможностью простого управления интенсивностью и цветом излучения путем прямой токовой модуляции [3–5; 13]. Наличие широкого набора спектральных компонент светодиодов и возможность динамического управления их световыми параметрами позволяет, в частности, оптимально использовать свет как для процессов фотосинтеза, так и для процессов, связанных со световыми биоритмами растений.

Отмеченное открывает широкие перспективы для проведения систематических исследований, связанных с оптимизацией условий среды обитания растений и изучением некоторых особенностей физиологических процессов у растений, лимитирующих КПД их продукционного процесса. Результаты упомянутых исследований позволят в условиях фитотехкомплексов заметно снизить себестоимость единицы продукции.

В основу метода организации корнеобитаемой среды растений в фитотехкомплексах положен разработанный академиком Е.И. Ермаковым принцип интенсивного выращивания растений на тонкослойных или малообъемных аналогах почв с циркулирующим питательным раствором [8]. Обеспечение корней питательными растворами осуществляется по плоским щелевым капиллярам или с использованием модифицированного метода капельного полива [16; 17; 20].

По результатам исследований изменения гидрофизических, биологических и химических свойств различных природных и синтетических органических и минеральных материалов при длительном интенсивном выращивании на них растений созданы и апробированы высокоплодородные почвоаменители на основе верхнего торфа, сапропеля, кембрийской

глины и др. [18; 19]. Разработаны методы восстановления свойств почвозаменителей длительного использования [11; 21].

Мониторинг и управление условиями воздушной среды достигается посредством оснащения производственных помещений фитотехкомплекса системами электро-, тепло- и водоснабжения, а также системами приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования, аппаратурой контроля и регуляции температуры, влажности, содержания CO<sub>2</sub> в воздухе. Значения параметров воздушной среды поддерживаются в диапазонах, требуемых для оптимального развития выращиваемой культуры.

С целью оперативного выяснения диапазона благоприятных значений параметров воздушной, корнеобитаемой и световой среды для выращиваемой культуры, в особенности малоизученной, и оптимизации агротехнологий производства растительной продукции создано и используется специализированное вегетационно-облучательное оборудование: ризотроны и компьютеризированное информационно-техническое устройство «Оптиматор» [17]. Указанное оборудование состоит из **вегетационного блока**, включающего систему питания растений, осветительную систему, систему управления функционированием вышеуказанных систем; а также **информационно-измерительного блока с комплексом** уникальных миниатюрных датчиков, позволяющих оценить водный статус растений, и датчиков, характеризующих параметры микроклимата среды обитания растений.

Оборудование позволяет:

1. С помощью вегетационного блока:

– использовать различные почвогрунты и почвозаменители;

– применять различные по составу и концентрации удобрения и питательные растворы;

– применять различные варианты поливов: программный (варьируется частота поливов и количество подаваемой воды или питательного раствора), поддерживается заданная влажность корнеобитаемой среды, для управления поливом используются данные о водном статусе растений;

– регулировать облучённость растений (до 110 Вт/м<sup>2</sup> в области ФАР);

– варьировать спектральный состав света.

2. С помощью информационно-измерительного блока:

– оценить оптимальность для растений используемой агротехнологии, а именно: тип, состав, температуру и влажность корнеобитаемой среды, способ и режимы обеспечения корневых систем растений питательными веществами и водой, параметры воздушной и световой среды растений.

Использование указанного оборудования позволит существенно снизить затраты на внедрение и адаптацию новых технологий выращивания растений, на введение в ассортимент выращиваемых культур новых растений, позволит оптимизировать режимы питания, освещения растений, повысить урожайность и качество производимой растительной продукции в фитотехкомплексах.

Для интенсивного круглогодичного культивирования растений и получения высоких урожаев в фитотехкомплексах разработан и постоянно совершенствуется типоразмерный ряд вегетационных светустановок: одноярусные – для выращивания растений высотой до 1,2 м, до 2 м и бо-

Таблица 1

**Показатели развития, урожайности овощных культур и содержания нитратов в растительной продукции при выращивании в вегетационных светустановках\***

Культура	Сроки вегетации растений (от всходов), сутки	Урожай, кг сырой массы/м <sup>2</sup>	Урожай за год, кг сырой массы/м <sup>2</sup>	Нитраты, мг/кг сырой массы	ПДК** нитратов для продукции защищенного грунта, мг/кг сырой массы
Томат	75–80	18–25	70–100	14–20	300
Огурец	65–70	30–50	150–300	20–70	400
Салат	27–30	5–7	70–90	580–589	2000
Укроп	35–40	4–6	40–70	680–760	2000
Петрушка листовая	35–40	5–6	50–70	680–750	2000

\* Представлены средние значения показателей роста, развития, урожайности различных сортов и гибридов овощных культур, содержания нитратов в их растительной продукции.

\*\* Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01, 06.11.2001

лее; ярусные – для выращивания растений высотой до 0,4 м [32].

Разработанное вегетационно-облучательное оборудование с реализованными в нем приемами организации световой и корнеобитаемой среды успешно прошло технические и агробиологические испытания в помещении института, оснащенном микроклиматическим оборудованием, и являющимся по сути прототипом производственного цеха фитотехкомплекса.

О производительности оборудования свидетельствуют данные, представленные в табл. 1.

На установках можно получать несколько урожаев в год (томат – 4, перец – 3, огурец – 4–6, сельдерей листовой, укроп, петрушка – 12–14, листовая горчица – 16–18, кресс-салат – 20–24). Продукция имеет высокие качественные показатели по содержанию витаминов, минеральных элементов и по другим характеристикам пищевой ценности. Содержание нитратов в ней значительно ниже установленных санитарных норм (табл.), полностью отсутствуют пестициды и другие загрязнители.

Качество производимой продукции обеспечит конкурентоспособность на отечественном рынке. И, несмотря на сравнительно более высокие затраты электроэнергии на единицу производимой продукции относительно затрат в тепличных комплексах, очевидна рентабельность производства в вегетационно-облучательном оборудовании фитотехкомплексов благодаря более высокой производительности и урожайности.

Значимое снижение затрат на производство продукции в фитотехкомплексах и повышение рентабельности станет возможным благодаря применению в будущем новых энергоэкономичных светотехнических систем интеллектуального плана и оптимизированных ресурсосберегающих агротехнологий [17].

Полученные результаты легли в основу концепции создания автоматизированных фитотехкомплексов [16; 17; 32]. Комплексы могут быть узкоспециализированными, например, для выращивания только одного вида овощных культур, или предназначенными для выпуска широкого набора растительной продукции, включая производство растительного сырья для фармацевтической, парфюмерно-косметической промышленности и декоративных целей.

Преимущества и достоинства наших фитотехкомплексов по сравнению с аналогами:

- возможность выращивания большого ассортимента овощных, лекарственных и декоративных культур;

- высокое качество получаемой растительной продукции;

- высокая производительность и эксплуатационная надежность вегетационно-облучательного оборудования фитотехкомплекса.

- экологическая безопасность производства;

- технологическая простота монтажа и эксплуатации вегетационно-облучательного оборудования;

- минимизация риска массового распространения болезней растений вследствие модульности и конструктивных особенностей вегетационно-облучательного оборудования;

- возможность организации фитотехкомплексов в сооружениях или в помещениях высотой от 2,5 метров, оборудованных системами электро-, тепло- и водоснабжения.

Согласно предварительным экономическим оценкам работы фитотехкомплекса по производству зеленой продукции, с 1000 м<sup>2</sup> производственного помещения с высотой потолков – 12 метров реально ежедневное получение до 310 кг зеленой продукции (салат, укроп, петрушка, сельдерей, кресс-салат и другие листовые короткостебельные культуры) и до 113 т за год. При этом затраты на организацию производства зеленой продукции ориентировочно могут составить 62,2 млн руб. Окупаемость фитотехкомплекса по производству зеленой продукции – 2–3 года.

В фитотехкомплексе по производству огурца с 1000 м<sup>2</sup> производственного помещения с высотой потолков 12 метров планируется получение до 115 кг плодов огурца ежедневно и до 42 т продукции за год. Затраты на организацию производства плодов огурца ориентировочно могут составить 17–20 млн руб. Окупаемость фитотехкомплекса по производству плодов огурца – 2–3 года.

Заказчиками и потребителями фитотехкомплексов могут стать и крупные государственные предприятия (атомные станции, гидроэлектростанции, промышленные комплексы), и небольшие предприятия различных организационно-правовых форм: от обеспечивающих жизнедеятельность армейских подразделений до снабжающих лечебно-профилактические учреждения и жителей многоквартирных домов.

Изложенные основы создания фитотехкомплексов, полученные результаты испытаний работы их структурных элементов

подтверждают перспективность организации и широкого применения фитотехнологических комплексов для обеспечения населения в

любых регионах РФ свежей овощной, лекарственной, декоративной растительной продукцией высокого качества.

### Список литературы:

- [1] Аверчева О.В., Бассарская Е.М., Жигалова Т.В., Беркович Ю.А., Смолянина С.О., Леонтьева М.Р., Ерохин А.Н. Фотохимическая и фосфорилирующая активность хлоропластов и мезоструктура листьев китайской капусты при выращивании под светодиодами // Физиология растений. – 2010, т. 57. – С. 404–414.
- [2] Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений. – 2002, т. 56. С. – 17–26.
- [3] Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.А., Иткинсон Г.В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацунников А.Ф. О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении // Светотехника. – 2010, № 3. – С. 8–16.
- [4] Аладов А.В., Закгейм А.А., Мизеров М.Н., Черняков А.Е. О биологическом эквиваленте излучения светодиодных и ламповых источников освещения с цветовыми температурами в диапазоне  $T_c = 1800-10000\text{K}$  // Светотехника. – 2012, № 3. – С. 7–10. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.svetotekhnika.ru/files/2012/LE32012.pdf>
- [5] Аладов А.В., Закгейм А.А., Мизеров М.Н., Черняков А.Е. Полихромные спектрально-перестраиваемые осветительные приборы со светодиодами: опыт разработки и применения // Светотехника. – 2013, № 5–6. – С. 34–39.
- [6] Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Ерохин А.Н. Космические оранжереи: настоящее и будущее. – М.: Фирма «Слово», 2005. – 368 с.
- [7] Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации от 30 января 2010 г. // Российская газета. – 2010, № 21, 03.02.2010.
- [8] Ермаков Е.И. Избранные труды. – СПб.: Изд-во ПИАФ РАН, 2009. – 192 с.
- [9] Ермаков Е.И. Пленочный метод беспочвенного выращивания растений // Доклады ВАСХНИЛ. – 1964, № 5. – С. 31–35.
- [10] Ермаков Е.И. Системы интенсивного культивирования растений в регулируемых условиях / Системы интенсивного культивирования растений: Сб. тр. Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина; под ред. Е.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – С. 3–21.
- [11] Ермаков Е.И., Панова Г.Г., Аникина Л.М., Степанова О.А. Метод комплексной регенерации корнеобитаемых сред // Методические рекомендации. – СПб.: РАСХН/ГНУ АФИ Россельхозакадемии, 2008. – 16 с.
- [12] Жигалова Т.В., Бассарская Е.А., Аверчева О.В., Смолянина С.О., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н. Выращивание растений под светодиодами в светокультуре: проблемы и перспективы // Сб. трудов I Международной интернет-конференции «Растения и микроорганизмы». – Казань: Казанский университет, 2011. – С. 86–93.
- [13] Закгейм А.А. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) // Светотехника. – 2012, № 6. – С.12–21.
- [14] Литвинов С.С. и др. Технический регламент и безопасность свежей овощной продукции, картофеля и грибов // Экологические проблемы современного овощеводства и качество овощной продукции (сб. науч. тр., вып. 1) – М.: ФГБНУ ВНИИО, 2014. – С. 5–14.
- [15] Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Желтов Ю.И., Судаков В.А., Черноусов И.Н., Канаш Е.В., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции // Аграрная Россия. – 2009, № 5. – С. 7–10.
- [16] Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Канаш Е.В., Архипов М.В., Черноусов И.Н. Научно-технические основы оптимизации производственного процесса в регулируемой агроэкосистеме // Агрофизика. – 2011, №1. – С. 29–37.
- [17] Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судаков В.А., Якушев В.П. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении // Доклады РАСХН. – 2015, № 4. – С. 17–21.
- [18] Патент на изобретение РФ № 2081555 Почвогрунт для выращивания растений «Агрофит» / БИ № 17. 1997. Правообладатель – Ермаков Е.И., Желтов Ю.И., Мильто Н.Е., Кучеров В.И..
- [19] Патент на изобретение РФ № 2187928 Почвогрунт для выращивания растений / БИ № 24.2002. Правообладатель – Ермаков Е.И., Желтов Ю.И., Сургутанов Ю.П..
- [20] Патент на полезную модель РФ № 108705 «Устройство для выращивания растений» / Желтов Ю.И., Панова Г.Г. 2011. – Бюл. № 27.
- [21] Патент на изобретение РФ № 2302104 РФ Способ комплексной химической регенерации и стерилизации почвозаменителей / Панова Г.Г., Ермаков Е.И., Аникина Л.М., Степанова О.А. 2007. БИ № 19.
- [22] Патент на полезную модель РФ № 137446 «Устройство для выращивания растений» / Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Александров А.В., Желтов Ю.И. 2014. Бюл. № 5.
- [23] Патент на полезную модель РФ № 142236 «Многоярусное устройство для выращивания растений» / Черноусов И.Н., Александров А.В., Панова Г.Г. 2014. Бюл. № 17.

- [24] Патент на изобретение РФ № 2045162 «Способ выращивания длинностебельных растений с использованием искусственного освещения и устройство для его осуществления» / И.С. Лискер, В.Н. Карпов, Г.М. Лискер. 1995.
- [25] Патент на изобретение РФ № 2084123 «Теплица» / В.П. Шарупич. 1997.
- [26] Патент на изобретение РФ № 2062023 «Способ выращивания растений в теплице и устройство для его осуществления» / В.П. Шарупич. 1996.
- [27] Патент на полезную модель РФ № 18610 «Сборно-разборный многоярусный стеллаж» / Д.Ю. Волков, М.П. Версхюрен. 2001.
- [28] Патент на полезную модель РФ № 111971 «Сборно-разборное многоярусное устройство стеллажного типа для выращивания растений в условиях защищенного грунта» / Носков А.Н. 2012.
- [29] Патент на полезную модель РФ № 121989 «Устройство для выращивания растений (варианты)» / Распопов С.С., Седов В.И. 2012.
- [30] Патент на изобретение РФ № 2487531 «Культивационная колонна и способ ее обслуживания» / И.А. Антуфьев, В.И. Антуфьева, М.И. Алексеева. 2013.
- [31] Патент на изобретение РФ № 2391812 «Способ выращивания растений в условиях защищенного грунта, устройство для выращивания растений в условиях защищенного грунта и сборно-разборный многоярусный стеллаж для выращивания растений в условиях защищенного грунта» / Курочкин Г.В., Курочкина Г.П. 2010.
- [32] Разработка экспериментального образца вегетационно-облучательного модуля с технологическим обеспечением для получения зеленой продукции высокого качества / Заключительный научно-технический отчет о НИОКР № 02201361349, выполненной ООО «Фитосфера» по контракту №10333р/18350 от 04.06.2012 с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Руководитель НИОКР Панова Г.Г. 2013.
- [33] Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии. – СПб.: Изд-во ПИАФ РАН, 2007. – 384 с.
- [34] Тараканов И.Г. Современное состояние и перспективы развития светокультуры растений // Гавриш. – 2005, № 6. – С.34–38.
- [35] Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидбко Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 168 с.
- [36] Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. – Новосибирск.: Изд-во СО РАН, 2000. – 213 с.
- [37] Федеральная служба государственной статистики. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.gks.ru/dbscripts/Cbsd/D Inet.cgi>
- [38] Хамчиев Б.Б. Тезисы выступления на Всероссийской конференции «О состоянии и перспективах развития овощеводства защищенного грунта», Кострома, 26–27 июля 2005 г. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/5745.189.htm>.
- [39] Черноусов И.Н. Физическое моделирование световой среды растений в регулируемой агроэкосистеме // Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии. Сб. науч. тр. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН. 2007. – С. 43–53.
- [40] Bula R.J., Morrow R.S., Tibbits T.W., Barta D.J., Ignatius R.W., Martin T.S. Light-emitting Diodes as a Radiation Source for Plants // HortScience. – 1991, № 26. – P. 203–205.
- [41] Cooper A.J. Rapid crop turn-round is possible with experimental nutrient film technique // The Grower. – 1973, v. 79. – P.1048–1052
- [42] Goto E Plant production in a closed plant factory with artificial lighting // Acta Hort. – 2012, 956. – P. 37–49.
- [43] Hitoshi O. Automatic Plant Cultivation System (Automated Plant Factory) / Tatsuya H., Kouji K., Yoshifumi N. // Environ. Control Biol. – 2015, v. 53 (2). – P. 93–99.
- [44] Kurihara S. Consumer Evaluation of Plant Factory Produced Vegetables / Ishida T., Suzuki M., Maruyama A. // Focusing on Modern Food Industry (FMFI). – 2014, v. 3. – P. 1–9.
- [45] Lettuce See the Future: Japanese Farmer Builds High-Tech Indoor Veggie Factory. 2014. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.gereports.com/post/91250246340/lettuce-see-the-future-japanese-farmer-builds>.
- [46] Park J.-E., Nakamura K. Automatization, Labor-Saving and Employment in a Plant Factory // Environ. Control Biol. – 2015, v. 53 (2). – P. 89–92.
- [47] Plant Factory Grow Lights and Controls Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2010 to 2016. 2010 – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.researchmoz.com/plant-factory-grow-lights-and-controls-market-shares-strategies-and-forecasts-worldwide-2010-to-2016-report.html>.
- [48] Tamulaitis G., Duchovskis P., Bliznikas Z., Brazaityte A., Novickovas A., Zukauskas A. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation // J. Phys. D: Appl. Physics. – 2005, v. 38. – P. 3182–3187.
- [49] Watanabe H. Light-controlled plant cultivation system in Japan – Development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants // Acta Hort. – 2011, 907. – P. 37–44.