05.20.01 ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

05.20.01
УДК 631.544.45

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР КЛИМАТИЧЕСКИХ КАМЕР ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Наталья Александровна Семенова, кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
Андрей Александрович Гришин, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
Артём Александрович Дорохов, аспирант, младший научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва (Россия)

Аннотация

Введение: для стратегического развития овощеводства защищенного грунта, внедрения в производство новых технологий выращивания, которые обеспечат решение проблемы сезонного и межсезонного потребления овощей, необходимо проведение научных исследований в области селекции, физиологии и биотехнологии растений. Проведение таких научных исследований предусматривает применение климатических камер, в целях обеспечения требуемых микроклиматических и световых условий. В этой связи необходимо оценить существующий уровень технического обеспечения технологий выращивания овощных культур и определить проблемы развития климатических камер.

Материалы и методы: путем проведения информационного анализа и синтеза данных с применением сравнительного метода технических решений были выявлены универсальные модели, обладающие высокой степенью автоматизации процессов регулирования микроклиматических и световых условий роста и развития растений.

Результаты и обсуждение: в данной работе был произведен анализ климатических камер (фитотронов) с целью установления проблем технического обеспечения процессов выращивания растений. Произведена классификация климатических камер. Отражены технологические особенности и функциональность перспективных моделей климатических камер. Рекомендована к интеграции в техническую систему климатических камер новая технология капельного орошения с учетом энергетических градиентов онтогенеза растений.

Заключение: выявлены недостатки в техническом обеспечении процессов выращивания растений в закрытых агроэкосистемах климатических камер. Обозначены задачи, направленные на создание и внедрение интеллектуальных систем управления различных классов (экспертных, нечеткой логики, нейронных сетей), в том числе системы фитомониторинга.

Ключевые слова: закрытая агроэкосистема, защищенный грунт, интеллектуальные системы, климатическая камера, лимитирующие факторы, микроклиматические условия, овощная продукция, световые условия, селекция овощных культур, фитотрон.

Для цитирования: Семенова Н. А., Гришин А. А., Дорохов А. А. Аналитический обзор климатических камер для выращивания овощных культур // Вестник НГИЭИ. 2020. № 1 (104). С. 5–15.

ANALYTICAL REVIEW OF CLIMATIC CHAMBERS FOR VEGETABLE CROPS GROWING

Natalya Aleksandrovna Semenova, Ph. D. (Agricultural), Chief researcher
Andrey Aleksandrovich Grishin, Ph. D. (Economy), Chief researcher
Artem Aleksandrovich Dorokhov, post-graduate student, junior researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow (Russia)

Abstract

Introduction: scientific researches in the field of plant breeding, physiology and biotechnology are necessary for the strategic development of greenhouse vegetable growing, the introduction of new cultivation technologies into production that will provide a solution to the problem of seasonal and off-season consumption of vegetables. Carrying out such scientific research involves the use of climate chambers in order to ensure the required microclimatic and light conditions. In this regard, it is necessary to assess the current level of technical support for vegetable growing technologies and determine the problems of the development of climate chambers.

Materials and methods: universal climate chamber models with a high degree of automation of microclimatic and light conditions regulation of plant growth and development have been identified by conducting information analysis and data synthesis using the comparative method of technical solutions.
Results and discussion: in this work, an analysis of climatic chambers (phytotrons) was carried out in order to identify the problems of technical support of plant growing processes. The classification of climate chambers was made. The technological features and functionality of perspective models of climate chambers were reflected. A new drip irrigation technology is recommended for integration into the technical system of climate chambers, taking into account the energy gradients of plant ontogenesis.
Conclusion: shortcomings in the technical support of plant growing processes in closed agroecosystems of climatic chambers are revealed. Tasks aimed at the creation and introduction of intelligent control systems of various classes (expert, fuzzy logic, neural networks), including phytomonitoring systems, are outlined**.**
Key words: closed agroecosystem, greenhouse growing, intelligent systems, climate chamber, limiting factors, microclimatic conditions, vegetable products, light conditions, selection of vegetable crops, phytotron.

For citation: Semenova N. A., Grishin A. A., Dorokhov A. A. Analytical review of climatic chambers for vegetable crops growing // Bulletin NGIEI. 2020. № 1 (104). P. 5–15.

Введение

Овощная продукция является незаменимым источником необходимых для здоровой жизнедеятельности организма веществ – углеводов, белков, витаминов и минеральных веществ. Поэтому постоянное присутствие в рационе питания овощей положительно влияет на здоровье и долголетие человека.

Развитие селекции овощных культур и овощеводства защищенного грунта способствует решению проблемы сезонного и межсезонного потребления овощей [1].

Вовощеводстве защищенного грунта важную роль играетсвоевременное изменение световых условий (спектрального состава и интенсивности освещения), поддержание микроклиматических условий культивирования растений в зависимости от фазы развития растений и времени суток. Для решения некоторых задач, связанных сселекцией овощных культур, требуетсяобеспечениестрессовых условий выращивания, включающих резко изменяющиеся световые и микроклиматические условия, периодичное или нерегулярное орошение или осуществление его минерализованной водой, установку низкогоуровня питания, при которых создаются новые или специальные адаптивные сорта.

В целяхобеспечения требуемых микроклиматических и световых условий в овощеводстве защищенного грунта и при отработке технологических процессов культивирования растений в селекции овощных культур применяются климатические камеры.

Климатическая камера (фитотрон) – это специализированное оборудование, представляющее собой закрытую агроэкосистемудля проведения научных исследований в области селекции, физиологии и биотехнологии растений (рис. 1). Основной задачей климатических камер являетсяобеспечение стабильных микроклиматических и световых условий, влияющих на показатели роста и развития растений [2].

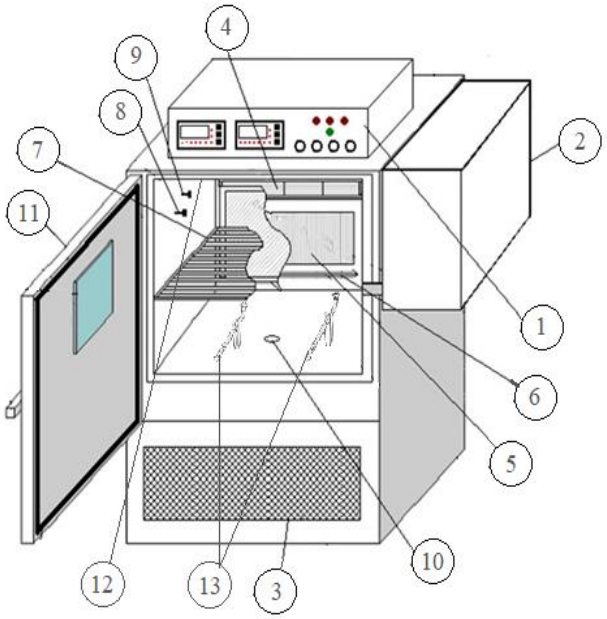

Рис. 1. Схема типовой климатической камеры:
1 – блок автоматического управления;
2 – блок генератора тумана; 3 – холодильный блок;
4 – блок вентиляторов; 5 – блок испарителя;
6 – блок ТЭН; 7 – лоток/полка; 8 – датчик
температуры; 9 – датчик влажности; 10 – слив;
11 – дверь; 12 – осветительное оборудование;
13 – система полива

Fig. 1. The diagram of a typical climate chamber:
1 – automatic control unit; 2 – fog generator unit;
3 – refrigeration unit; 4 – fan unit; 5 – evaporator unit;
6 – heater block; 7 – tray / shelf; 8 – temperature
sensor; 9 – humidity sensor; 10 – drain; 11 – door;
12 – lighting equipment; 13 – irrigation system

Исследования по изучению влияния основных лимитирующих факторов (температуры, влажности, светового излучения, концентрации углекислоты и др.) на показатели роста и развития растений не теряют своей актуальности в овощеводстве [3; 4].

Недостаточно для эффективного применения изучено влияние спектрального состава света на изменение состава основных гормонов растений [12; 13; 14]. Свет играет определяющую рольв жизни растений, так как представляет собой неотъемлемую часть световой фазы фотосинтеза. Влияние спектрального состава света на развитие растений в различные периоды (фенофазы) их развития стало предметом многочисленных исследований еще с 80-х годов [5; 6; 7; 8; 9; 10; 11].

В связи с глобальным изменением климата возникла необходимость понимания механизмов реакции сельскохозяйственных культур на повышенные концентрации углекислоты. Особую актуальность приобрели исследования по определению оптимальной концентрации углекислоты для различных культур, при которых его негативное влияние будет минимальным, а позитивное максимальным [15; 16; 17].

Для получения экологически чистой продукции и увеличения урожайности агрокультур учеными из разных стран мира проводятся исследования, направленные на разработку новых технологий производства в защищенном грунте [18; 19; 20; 21; 30]. Применение климатических камер для отработки технологий культивирования различных культур путём проведения многофакторных опытов позволит оптимизировать процесс производства для развития сельского хозяйства в России и за рубежом. Однако для проведения многофакторных опытов требуется достаточное техническое и интеллектуальное обеспечение.

В этой связи необходимо оценить существующий уровень технического обеспечения технологий выращивания овощных культур и определить проблемы развития климатических камер.

Цель исследований

Установить уровень и пути развития технического обеспечения процессов выращивания растений в закрытых агроэкосистемах климатических камер.

Материалы и методы исследований

Методической основой исследования являются информационный анализ и синтез данных с применением сравнительного метода технических решений, направленных на автоматизацию процесса выращивания овощных культур в климатических камерах.

В работе были проанализированы исследования ученых в области управления инновационными процессами в сельском хозяйстве, селекции овощных культур, физиологии и биотехнологии растений, доклады научно-исследовательских организаций и материалы периодических изданий.

Исследования с применением климатических камер, посвящённые селекции овощных культур и овощеводству защищенного грунта, как правило, узконаправленны и рассматривают результаты влияния отдельных лимитирующих факторов на рост и развитие растений. Ввиду отсутствия международных исследований, в которых анализируются многофакторные эксперименты с применением автоматизированных средств выращивания, в данной работе рассматриваются публикации авторов, которые сходны по своим характеристикам, непосредственно влияющим на рост и развитие растений.

Результаты и обсуждение

Повышение качества и урожайности овощных культур может быть достигнуто путем селекции в семеноводстве и применения современных технологий культивирования овощных культур в климатических камерах.

В таблице 1 представлен аналитический обзор климатических камер по техническому и функциональному обеспечению процессов выращивания растений.

Климатические камеры можно разделить на несколько типов: климатические камеры тепло-холод (камеры 10, 11); климатические камеры тепло-холод-влага (камеры 4, 9); комбинированные климатические камеры (1–3, 5–8).

В целях автоматизации процессов фиксации изменений микроклиматических параметров современные климатические камеры позволяют производить запись данных в хронологическом порядке, визуализировать эти данные в графики и таблицы, а также осуществляют передачу данных через USB-кабель/Ethernet, и имеют возможность удаленного управления с ПК или мобильного устройства. Данным характеристикам соответствуют климатические камеры 1, 2, 5, 7, 8 и 11 (табл. 1).

Среди элементной базы цифровых технологий сельского хозяйства особое место занимают датчики и сенсоры, с помощью которых получают исходную первичную информацию о физиологическом состоянии растений и показателях окружающей среды, в которой они находятся. Данная информация необходима для дальнейшего управления технологическим процессом сельхозпроизводства – построения алгоритма управляющего воздействия, принятия решения в интеллектуальной технике. Такими датчиками и сенсорами в полной мере располагают климатические камеры 1–3 (табл. 1).

Таблица 1. **Технические и функциональные особенности климатических камер**
Table 1. **Technical and functional capabilities of climate chambers**

№	Модель (производитель) климатической камеры / Model (manufacturer) of the climate chamber	Диапазон температур от +10 до +35 °С/ Temperature range from +10 to + 35 ° С	Диапазон изменения влажности,% / Range of humidity change,%	Имитация дня/ночи / day/night imitation	Изменение интенсивности освещения / Light intensity change	Изменение спектра освещения / Changing of lighting spectrum	Система полива / Irrigation system	Система контроля и подачи углекислого газа / Carbon dioxide control and supply system	Система вентилирования / Ventilation system	Обмен данными с ПК и/или с облачным хранилищем / Data exchange with PC and / or cloud storage	Система фильтрации воды / Water filtration system	Система видеонаблюдения / CCTV system
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	LGC-5301(DAIHAN Lab-Tech Co., Ltd)	+	30–98	+	+ опц.	+ опц.	+	+ опц.	+	+	+	+ опц
2	МИР-Компакт 2+(АВТех)	+	30–90	+	+ опц.	+ опц.	+ опц	+	+	+	-	+
3	Plant Growth Chamber-BJPX-A300(BIOBASE)	+	50–90	+	+	-	+ опц	+ опц.	+	-	-	-
4	КК 350 (**НЕМЕН**)	+	30–90	+	+	+ опц.	-	-	+	-	-	-
5	СМ 4/50-295 РР (СМ Климат)	+	50–90	+	+	-	-	-	+	+	-	-
6	PG034 (Darwin Chambers)	+	40–90	+	+	-	-	-	+	-	-	-
7	MSH-221 (НТК Криотехника)	+	10–80	+	-	-	-	-	+	+	-	-
8	PSI FytoScope FS-RI 1600 Reach-In(PSI - Photon system Instruments)	+	опц. 40–80	+	-	-	-	-	+	+ опц.	-	-
9	Green Walk-in Plant Growth Chamber (Kaleidoscope Climatic Solutions)	+	30–98	+	+	-	-	-	-	-	-	-
10	Фитотрон ЛиА-1 (Лазеры и Аппаратура)	+	-	+	-	-	+ опц.	-	+	-	-	-
11	KBW 400 (Binder)	+	-	-	+ опц.	-	-	-	+	+	-	-

опц. – опциональная (дополнительная) установка оборудования

Отдельно можно отметить климатические камеры серии МИР-компакт от производителя АНО «АВТех» и камеры LGC-5301 Daihan Labtech», которые, в отличие от других производителей имеют технологические особенности. Камеры серии МИР-компакт оснащаются роботизированной системой флуоресцентной визуализации для высокопроизводительного скрининга и мультиспектрального ана-

лиза растений [22]. Данная система позволяет производить анализ параметров флуоресценции хлорофилла, который представляет собой инструмент изучения воздействия самых разнообразных экологических факторов на растительные организмы. Химические факторы и климатические условия, часто являясь ингибиторами и активаторами биоэнергетических процессов, протекающих в тилакоидах растительных клеток, способны оказывать выраженное влияние на параметры кинетики и спектральные особенности флуоресценции, а также на её стационарный уровень. Исследования кинетики флуоресценции могут дать важную информацию, касающуюся характера активности фактора внешней среды по воздействию на параметры фотосинтеза – применимую в целях экологического мониторинга, а также в целях оценки устойчивости растений [31]. Камеры Daihan Labtech (LGC-5301) оснащены современной системой цифровой видеофиксации Lab-Dog, которая позволяет осуществлять видеозапись в ходе экспериментальных исследований и мониторинг работы камеры при помощи сети Ethernet [23].

Для большинства овощных культур оптимальным интервалом влажности воздуха является 50–80 %, в то время как для растений в период адаптации к нестерильным условиям среды (после культуры invitro) необходим ещё более влажный воздух (до 90–95 %) [14; 16]. Влажность воздуха является лимитирующим фактором в жизни растений, поэтому необходимо учитывать наличие технических средств увлажнения воздуха в климатической камере. Исходя из таблицы 1, данными техническими средствами оснащены камеры 1–6 и 9.

Освещение реализует программу фотоморфогенеза, определяющую морфологию растений, их рост и развитие [9]. Биосинтетическая функция света состоит как в непосредственном участии света в биосинтетическом процессе, так и в воздействии на каталитическую активность ряда ферментов и определённым образом зависит, как и энергетическая функция, от уровня PPF и спектрального состава света. Диапазон длин волн оптического излучения, имеющих основное субстратно-регуляторное значение для растений, простирается от 280 до 750 нм. Таким образом, для реализации энергетического потенциала растений, их полноценного роста и развития требуется наличие осветительных приборов с мультиспектральным регулированием, которые на каждом этапе роста культуры реализуют оптимальные световые условия. Соответствующим функционалом обладают модели климатических камер 1–2 и 4 (табл. 1).

Одна из ключевых проблем при выращивании растений – это своевременный и качественный полив. В связи с этим возникает необходимость в устройствах, которые позволяют дозированно насыщать растения влагой и удобрениями. В результате анализа технической документации было выявлено, что существенным недостатком подавляющего большинства представленных моделей климатических камер является отсутствие растворного узла и системы полива, в то время как исследовательские работы [24; 25; 26] свидетельствуют о преимуществах применения автоматизированных систем полива, среди которых: возможность равномерного распределение влаги, установка индивидуальной программы полива для разных видов растений, контроль над расходом воды, снижение трудозатрат на полив и обработку растений, удаленный мониторинг и управление системой полива. Частые манипуляции с растениями для проведения полива и подкормок нарушают среду выращивания растений, приводят к изменениям газового состава и микробиологической среды, что в итоге негативно сказывается на сроках выращивания овощных культур [29].

В настоящее время ведутся разработки технологии спринклерного и фертигационного капельного орошения с учетом энергетических градиентов онтогенеза растений [27; 28], которая способствует повышению коэффициента усвоения удобрений у овощных культур до 20 %, создаёт условия оптимального режима влажности почвы и исключает возможные заболевания листьев растений, а при совместном внесении углекислоты увеличивает количество урожая в 1,6–2 раза [28]. Результаты, полученные на текущем этапе разработки, позволяют считать технологию перспективной для последующей интеграции в техническую систему климатических камер.

Заключение

В результате аналитического обзора было установлено, что 91 % климатических камер не используют всех имеющихся возможностей цифровых интеллектуальных технологий и технических средств, обладают узким набором регулируемых параметров, которые ограничивают возможность проведения многофакторных опытов по влиянию климатических условий на рост и развитие агрокультур.

Установлены универсальные модели, обладающие высокой степенью автоматизации процессов регулирования микроклиматических и световых условий роста и развития растений (модели 1–3).

Выявлены недостатки в техническом обеспечении процессов выращивания растений в закрытых агроэкосистемах климатических камер:

– отсутствуют средства прогнозирования продуктивности овощных культур исходя из микроклиматических условий;

– отсутствуют средства определения и подавления стрессов и заболеваний у растений;

– отсутствует стационарный растворный узел для приготовления многокомпонентных удобрений.

Для устранения недостатков современных климатических камер необходимо разработать комплекс мероприятий, направленных на создание и внедрение интеллектуальных систем управления различных классов (экспертных, нечеткой логики, нейронных сетей), в том числе системы фитомониторинга, которые позволят без участия человека решать следующие задачи:

- отслеживать признаки биотических стрессов и заболеваний у растений и анализировать отклонения на основе полученных данных;
- оптимизировать периоды полива, спектр искусственного освещения и расход элементов минерального питания растений;
- выявлять нарушения в технологии выращивания, оценивать последствия;
- оперативно принимать решения по устранению негативных факторов и процессов, влияющих на продуктивность растений;
- прогнозировать продуктивность выращиваемых культур.

Таким образом, для развития современных климатических камер с закрытыми агроэкосистемами, как средства выращивания овощных культур, необходимо их дальнейшее совершенствование с применением интеллектуально-цифровых технологий и новых технических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зернов В. Н., Колчин Н. Н., Дорохов А. С., Аксенов А. Г., Петухов С. Н.* Методология формирования технологий и технических средств для выполнения работ в селекции и семеноводстве картофеля // В сборнике: картофелеводство материалы научно-практической конференции. Под редакцией С. В. Жеворы. 2017. С. 78–88.

2. *Дорохов А. С., Гришин А. П., Гришин А. А.* Принципы синергетики и эксергетического моделирования для управления продукционными процессами в закрытых искусственных агроэкосистемах (ЗИАЭС) // Научно-практический журнал Агротехника и энергообеспечение. Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина, 2019, № 3 (24), ISSN:2410-5031.

3. *Jiang Y., Lindsay D. L., Davis A. R., Wang Z., MacLean D. E., Warkentin T. D., Bueckert R. A.* Impact of heat stress on pod-based yield components in field pea (Pisum sativum L.) // Journal of agronomy and crop science, NJ USA, WILEY, 2019, DOI: 10.1111/jac.12365.

4. *Silva D. A., Pinto-Maglio C. A. F., Oliveira E. C., Reis R. L. D., Carbonell S. A. M., Chiorato A. F.* Ifluence of high temperature on the reproductive biology of dry edible bean (Phaseolus vulgaris L.) // Scientia Agricola. V. 77. Rel. 3, Brasil, UNIVSaoPaolo, 2020, DOI:10.1590/1678-992X-2018-0233.

5. *Тихомиров А. А., Золотухин И. Г., Лисовский Г. М., Сидько Ф. Я.* Специфика реакций растений разных видов на спектральный состав ФАР при искусственном освещении // Физиология растений. 1987. Т. 34. С. 774–785.

6. *Стребков Д. С., Юферев Л. Ю., Александров Д. В., Соколов А. В.* Повышение эффективности систем освещения и облучения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 13–16.

7. *Плотникова Л. Я., Самойлов В. Н.* Перспективные направления повышения продуктивности растений в интенсивной светокультуре // Научный альманах. 2015. № 12–2 (14). С. 428–431.

8. *Мишанов А. П., Маркова А. Е., Ракутько С. А., Бровцин В. Н., Ракутько Е. Н.* Влияние соотношения долей зеленого и красного излучения на биометрические показатели салата // Сборник научных трудов ИАЭП. 2015. Вып. 87. С. 264–271.

9. *Головацкая И. Ф., Карначук Р. А.* Роль зеленого света в жизнедеятельности растений // Физиология растений. 2015. Том 62. № 6. С. 776–791.

10. *Hitz T., Hartung J., Graeff-Honninger S., Munz S.* Morphological Response of Soybean (Glycine max (L.) Merr.) Cultivars to Light Intensity and Red to Far-Red Ratio // Agronomy-Basel. V. 9. Rel. 8. № 428. Switzerland. MDPI, 2019, DOI: 10.3390/agronomy9080428.

11. *Бондарева Л. Л., Разин О. А.* Использование камер искусственного климата при селекции капусты // Овощи России. ФГБНУ «ФНЦО». 2014. № 4 (25). С. 37–39. ISSN: 2072-9146e ISSN: 2618-7132.

12. *Jensen N. B., Clausen M. R., Kjaer K. H.* Spectral quality of supplemental LED grow light permanently altersstomatal functioning and chilling tolerance in basil (Ocimum basilicum L.) // Scientia Horticulturae. V. 227. Elsevier Science BV. Netherlands. 2018. P. 38–47. DOI:10.1016/j.scienta.2017.09.011.

13. *Folta K. M.* Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition // Plant Physiology. V. 135. Rel. 3. USA. Amer SOC Plant Biologists. 2004. P. 1407–1416. DOI: 10.1104/pp.104.038893.

14. *Коломейченко В. В., Беденко В. П.* Теория продукционного процесса растений и фитоценозов // Вестник ОрелГАУ. 2008. № 4 С. 17–21.

15. *Gamar M. I. A., Kisiala A., Emery R. J. N., Yeung E. C. Stone S. L., Qaderi M. M.* Elevated carbon dioxide decreases the adverse effects of higher temperature and drought stress by mitigating oxidative stress and improving water status in Arabidopsis thaliana // PLANTA. V. 250. Rel. 4. USA. SPRINGER. 2019. P. 1191–1214. DOI: 10.1007/s00425-019-03213-3.

16. *Габибова Е. Н., Мухортова В. К.* Овощеводство : учебное пособие. Ч. 1. Донской ГАУ. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 180 с.

17. *Zheng Y. P., Li F., Hao L. H., Yu J. J., Guo L. L., Zhou H. R., Ma C., Zhang X. X., Xu M.* Elevated CO2 concentration induces photosynthetic down-regulation with changes in leaf structure, non-structural carbohydrates and nitrogen content of soybean // BMC Plant Biology. V. 19. № 255. England. BMC. 2019. DOI: 10.1186/s12870-019-1788-9.

18. *Taiukder M. R., Asaduzzaman M., Tanaka H., Asao T.* Light-emitting diodes and exogenous amino acids application improve growth and yield of strawberry plants cultivated in recycled hydroponics // Scientia horticulturae. V. 239. Japan. ELSEVIER SCIENCE BV. 2018. P. 93–103. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.05.033.

19. A LED-based smart illumination system for studying plant growth // Lighting research & technology. V. 46. Rel.2. Mexico, SAGE PUBLICATIONS LTD, 2014, P. 128–139. DOI: 10.1177/1477153513478300.

20. *Touliatos D., Dodd I. C., McAinsh M.* Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics // Food and energy security. V. 5. Rel. 3. England. WILEY. 2016. P. 184–191. DOI: 10.1002/fes3.83.

21. Nutrient Film Technique Hydroponics Vertical Farming of Lettuce Plants using Dissolved Nutrient solution // Bioscience biotechnology research communications. V. 12. Rel. 3. India, SOC SCIENCE & NATURE. 2019. P. 30–34. DOI: 10.21786/bbrc/SI/12.3/8.

22. Камера для роста растений МИР-компакт-2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.awt.ru/catalog/kamery-dlja-rosta-rastenij/mir2-klimaticheskaia-kamera-2/ (дата обращения 14.10.19).

23. Камеры DAIHANLABTECH [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.awt.ru/images/1/DAIHANLABTECH.pdf (дата обращения 14.10.19).

24. *Краснов С. А., Минаева Н. В.* Автоматизированная система управления поливом и мониторинга влажности почвы // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности. Сборник трудов конференции РГУ им. А. Н. Косыгина. 2015. С. 17–19.

25. *Косухин М. М., Косухин А. М., Константиневская Л. В.* Рациональное использование природного водопотребления путем внедрения автоматизированного полива // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды. Сборник трудов конференции БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. С. 245–251.

26. *Ослин И. О., Чуба А. Ю.* Автоматизированный полив для теплицы // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник трудов конференции ГАУ Северного Зауралья. 2019. С. 219–223.

27. *Кожухов В. А., Себин А. В.* Разработка системы фертигационного капельного орошения в вегетационной климатической камере с учетом энергетических градиентов онтогенеза растений // В сборнике: Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития // Материалы XIV международной научно-практической конференции. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. 2015. С. 74–78.

28. *Артёмов В. А., Кожухов В. А.* Вегетационная климатическая камера // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. Ачинский филиал Красноярского государственного аграрного университета. № 8. 2017. С. 40–42. ISSN: 2410-986X.

29. *Куртенер Д. А., Чудновский А. Ф.* Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте. СПб. : Гидрометеоиздат, 1969, 299 с.

30. *Дорохов А. С., Краснящих К. А., Скороходов Д. М.* Средства контроля качества сельскохозяйственной техники // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 34–35.

31. *Лысенко В. С., Вардуни Т. В., Сойер В. Г., Краснов В. П.* Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода // Фундаментальные исследования. 2013. № 4–1. С. 112–120.

Дата поступления статьи в редакцию 24.10.2019, принята к публикации 25.11.2019.

Информация об авторах:

Семенова Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Адрес: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
E-mail: natalia.86@inbox.ru
Spin-код: 9573-9253

Гришин Андрей Александрович, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
Адрес: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
E-mail: 5145412@mail.ru
Spin-код: 2644-4840

Дорохов Артём Александрович, аспирант,
младший научный сотрудник
Адрес: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
E-mail: dorokhov-91@yandex.ru
Spin-код: 1125-7140

Заявленный вклад авторов:

Семенова Наталья Александровна: общее руководство проектом, анализ и дополнение текста статьи, перевод на английский язык.

Гришин Андрей Александрович: оформление таблиц с результатами исследований, дополнение текста статьи, подготовка литературного обзора.

Дорохов Артём Александрович: сбор и обработка материалов, подготовка первоначального варианта текста, оформление результатов исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Zernov V. N., Kolchin N. N., Dorokhov A. S., Aksenov A. G., Petukhov S. N. Metodologija formirovanija tehnologij i tehnicheskih sredstv dlja vypolnenija rabot v selektsii i semenovodstve kartofelja [The methodology of the technology and technical means to perform the work in plant breeding and seed production of potatoes], *V sbornike: kartofelevodstvo materialy nauchno-prakticheskoj konferentsii. Pod redakciej S. V. Zhevory* [*In the collection: potato production materials of a scientific and practical conference. Edited by S. V. Zhevora*], 2017. pp. 78–88.

2. Dorokhov A. S., Grishin A. P. Grishin A. A. Principy sinergetiki i eksergeticheskogo modelirovaniya dlya upravleniya produkcionnymi processami v zakrytyh iskustvennyh agroekosistemah (ZIAES) [Principles of synergetics and exergetic modeling for managing production processes in closed artificial agroecosystems (CAAES)], *Nauchno-prakticheskij zhurnal Agrotekhnika i energoobespechenie. Orlovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni N. V. Parahina* [*Scientific and Practical Journal Agrotechnics and Energy Supply. Oryol State Agrarian University named after N. V. Parakhina*], 2019, No. 3 (24), ISSN: 2410-5031.

3. Jiang Y., Lindsay D. L., Davis A. R., Wang, Z., MacLean D. E., Warkentin T. D., Bueckert R. A. Impact of heat stress on pod-based yield components in field pea (Pisum sativum L.), *Journal of agronomy and crop science*, NJ USA, WILEY, 2019, DOI: 10.1111/jac.12365.

4. Silva D. A., Pinto-Maglio C. A. F., de Oliveira E. C., dos Reis R. L. D., Carbonell S. A. M., Chiorato A. F. Influence of high temperature on the reproductive biology of dry edible bean (Phaseolus vulgaris L.), *Scientia Agricola*, Vol. 77, Rel. 3, Brasil, UNIV Sao Paolo, 2020, DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0233.

5. Tikhomirov A. A., Zolotukhin I. G., Lisovsky G. M., Sidko F. Y. Specifika reakcij rastenij raznyh vidov na spektral'nyj sostav FAR pri iskusstvennom osveshchenii [Plant reaction specificity of different species to the spectral composition of PARs under artificial lighting], *Fiziologiya rastenij* [*Plant Physiology*], 1987, Vol. 34, pp. 774–785.

6. Strebkov D. S., Yuferev L. Y., Aleksandrov D. V., Sokolov A. V. Povyshenie effektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems], *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva* [*Agriculture Mechanization and Electrification*], 2014, No. 1, pp. 13–16.

7. Plotnikova L. Y., Samoilov V. N. Perspektivnye napravleniya povysheniya produktivnosti rastenij v intensivnoj svetokul'ture [Prospective directions for increasing plant productivity in intensive light culture], *Nauchnyj al'manah* [*Scientific almanac*], 2015, No. 12–2 (14), pp. 428–431.

8. Mishanov A. P., Markova A. E., Rakutko S. A., Brovtsin V. N., Rakutko E. N. Vliyanie sootnosheniya dolej zelenogo i krasnogo izlucheniya na biometricheskie pokazateli salata [The influence of the ratio of the shares of green and red radiation on the biometric indicators of lettuce], *Sbornik nauchnyh trudov IAEP* [*Collection of scientific papers of the IAEP*], 2015. Vol. 87, pp. 264–271.

9. Golovatskaya I. F., Karnachuk R. A. Rol' zelenogo sveta v zhiznedeyatel'nosti rastenij [The role of green light in plant life], *Fiziologiya rastenij* [*Plant Physiology*], 2015, Vol. 62, No. 6, pp. 776–791.

10. Hitz T., Hartung J., Graeff-Honninger S., Munz S. Morphological Response of Soybean (Glycine max (L.) Merr.) Cultivars to Light Intensity and Red to Far-Red Ratio, *Agronomy-Basel*, Vol. 9, Rel. 8, No. 428, Switzerland, Publ. «MDPI», 2019, DOI: 10.3390/agronomy9080428.

11. Bondareva L. L., Razin O. A. Ispol'zovanie kamer iskusstvennogo klimata pri selekcii kapusty [The use of artificial climate chambers in the selection of cabbage], *Ovoshchi Rossii, FGBNU «FNCO»* [*Vegetables of Russia, Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center»*], 2014, No. 4 (25), pp. 37–39, ISSN: 2072-9146eISSN: 2618-7132.

12. Jensen N. B., Clausen M. R., Kjaer K. H. Spectral quality of supplemental LED grow light permanently alters stomatal functioning and chilling tolerance in basil (Ocimum basilicum L.), *Scientia Horticulturae*, Vol. 227, Publ. «Elsevier Science BV», Netherlands, 2018, pp. 38–47, DOI:10.1016/j.scienta.2017.09.011.

13. Folta K. M. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition, *Plant Physiology*, Vol. 135, Rel. 3, USA: Amer SOC Plant Biologists, 2004, pp. 1407–1416, DOI:10.1104/Pp.104.038893.

14. Kolomeychenko V. V., Bedenko V. P. Teoriya produktsionnogo protsessa rastenij i fitosenozov [The theory of the production process of plants and phytocenoses], *Vestnik OrelGAU* [*Vestnik OrelSAU*], 2008, No. 4, pp. 17–21.

15. Gamar M. I. A., Kisiala A., Emery R. J. N., Yeung E. C., Stone S. L., Qaderi M. M. Elevated carbon dioxide decreases the adverse effects of higher temperature and drought stress by mitigating oxidative stress and improving water status in Arabidopsis thaliana, *PLANTA*, Vol. 250, Rel. 4, USA: SPRINGER, 2019, pp. 1191–1214, DOI: 10.1007/s00425-019-03213-3.

16. Gabibova E. N., Mukhortova V. K. Ovoshchevodstvo, uchebnoe posobie, Chast'. 1, [Vegetable growing, study guide, Part 1], Donskoj GAU, Persianovsky: Donskoy GAU, 2019, 180 p.

17. Zheng Y. P., Li F., Hao L. H., Yu J. J., Guo L. L., Zhou H. R., Ma C., Zhang X. X., Xu M. Elevated CO2 concentration induces photosynthetic down-regulation with changes in leaf structure, non-structural carbohydrates and nitrogen content of soybean, *BMC Plant Biology*, Vol. 19, No. 255, England: BMC, 2019, DOI: 10.1186/Pp. 12870-019-1788-9.

18. Taiukder M. R., Asaduzzaman M., Tanaka H., Asao T. Light-emitting diodes and exogenous amino acids application improve growth and yield of strawberry plants cultivated in recycled hydroponics, *Scientia horticulturae*, Vol. 239, Japan, Elsevier Science BV, 2018, pp. 93–103, DOI: 10.1016/j.scienta.2018.05.033.

19. Olvera-Gonzalez E., Alaniz-Lumbreras D., Torres-Arguelles V. Gonzalez-Ramirez E., Villa-Hernandez J., Araiza-Esquivel M., Ivanov-Tsonchev R., Olvera-Olvera C., Castano V. M. A LED-based smart illumination system for studying plant growth, *Lighting research & technology*, Vol. 46, Rel. 2, Mexico, Sage Publications LTD, 2014, pp. 128–139, DOI: 10.1177/1477153513478300.

20. Touliatos D., Dodd I. C., McAinsh M. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal, *Food and energy security*, Vol. 5, Rel. 3, England, Wiley, 2016, pp. 184–191, DOI: 10.1002/fes3.83.

21. Nutrient Film Technique Hydroponics Vertical Farming of Lettuce Plants using Dissolved Nutrient solution. *Bioscience biotechnology research communications*, Vol. 12, Rel. 3, India, SOC Science & Nature, 2019, pp. 30–34. DOI: 10.21786/bbrc/SI/12.3/8.

22. Kamera dlya rosta rastenij MIR-kompakt-2 [Elektronnyj resurs]. Available at: http://www.awt.ru/catalog/kamery-dlja-rosta-rastenij/mir2-klimaticheskaia-kamera-2/ (Accessed 14.10.19).

23. Kamery DAIHAN LABTECH [Elektronnyj resurs]. Available at: http://www.awt.ru/images/1/ DAIHAN-LABTECH.pdf (Accessed 14.10.19).

24. Krasnov S. A., Minaeva N. V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya polivom i monitoringa vlazhnosti pochvy [Automated irrigation control system and soil moisture monitoring], *Innovatsionnoe razvitie legkoj i tekstil'noj promyshlennosti. Sbornik trudov konferentsii RGU im. A. N. Kosygina*. [*Innovative development of light and textile industry. Proceedings of the conference of the RSU named after A. N. Kosygin*]. 2015. pp. 17–19.

25. Kosukhin M. M., Kosukhin A. M., Konstantinevskaya L. V. Racional'noe ispol'zovanie prirodnogo vodopotrebleniya putem vnedreniya avtomatizirovannogo poliva [Rational use of natural water consumption through the introduction of automated irrigation], *Innovatsionnye puti resheniya aktual'nyh problem prirodopol'zovaniya i zashchity okruzhayushchej sredy. Sbornik trudov konferencii BGTU im. V. G. Shuhova* [I*nnovative ways to solve pressing problems of nature management and environmental protection. Proceedings of the conference BSTU named after V. G. Shukhov*], 2018, pp. 245–251.

26. Oslin I. O., Chuba A. Y. Avtomatizirovannyj poliv dlya teplitsy [Automated watering for a greenhouse],*Aktual'nye voprosy nauki i hozyajstva: novye vyzovy i resheniya. Sbornik trudov konferentsii GAU Severnogo Zaural'ya* [*Actual problems of science and economy: new challenges and solutions. Proceedings of the GAU conference of the Northern Trans-Urals*]. 2019, pp. 219–223.

27. Kozhukhov V. A., Sebin A. V. Razrabotka sistemy fertigacionnogo kapel'nogo orosheniya v vegetacionnoj klimaticheskoj kamere s uchetom energeticheskih gradientov ontogeneza rastenij [Development of a fertigation drip irrigation system in a vegetative climate chamber taking into account the energy gradients of plant ontogenesis], *V sbornike: Nauka i obrazovanie: opyt, problemy, perspektivy razvitiya, Materialy XIV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii.* [*In the collection: Science and education: experience, problems, development prospects, Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference*], Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2015, pp. 74–78.

28. Artyomov V. A., Kozhukhov V. A. Vegetatsionnaya klimaticheskaya kamera [Vegetation Climate Chamber] *Nauchno-obrazovatel'nyj potencial molodezhi v reshenii aktual'nyh problem XXI veka, Achinskij filial Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [*Scientific and educational potential of youth in solving urgent problems of the XXI century, Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University*], No. 8, 2017, pp. 40–42, ISSN: 2410-986X.

29. Courtener D. A., Chudnovsky A. F. Raschet i regulirovanie teplovogo rezhima v otkrytom i zashchishchennom grunte [Calculation and regulation of thermal conditions in open and protected ground]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1969, 299 p.

30. Dorokhov A. S., Krasnyashchikh K. A., Skorokhodov D. M. Sredstva kontrolya kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki [*Quality of agricultural machinery control tools*], *Sel'skij mekhanizator* [*The rural machine operator*], 2015. No. 10. pp. 34–35, ISSN: 0131-7393

31. Lysenko V. S., Varduni T. V., Soier V. G., Krasnov V. P. Fluorescencija hlorofilla rastenij kak pokazatel' ekologicheskogo stressa: teoreticheskie osnovy primenenija metoda [*Fluorescence of chlorophyll plants as an indicator of environmental stress: the theoretical basis of the method*], *Fundamentalnie issledovaniâ* [*Fundamental research*], 2013, No. 4, pp. 112–119.

Submitted 24.10.2019; revised 25.11.2019.

About the authors:
Natalya A. Semenova, Ph. D. (Agricultural), Chief researcher
Address: Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
E-mail: natalia.86@inbox.ru
Spin-code: 9573-9253
Andrey A. Grishin, Ph. D. (Economy), Chief researcher
Address: Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
E-mail: 5145412@mail.ru
Spin-code: 2644-4840
Artem A. Dorokhov, post-graduate student, junior researcher
Address: Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
E-mail: dorokhov-91@yandex.ru
Spin-code: 1125-7140

Contribution of the authors:
Natalya A. Semenova: managed the research project, analyzing and supplementing the text, translation in to English.
Andrey A. Grishin: designed tables with results of the study, supplementing the text, reviewing the relevant literature.
Artem A. Dorokhov: collection and processing of materials, preparation of the initial version of the text, put results of the study.

All authors have read and approved the final manuscript.