



# **LIBRARY**

of Institute for Development Strategies

## **LIFE CYCLE AND ECOLOGY OF PLANTS: ENVIRONMENT REGULATION AND MANAGEMENT IN AGROBIOTECHNOSYSTEMS**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS**

First Issue

Edited by Professor V.N. Zelenkov

**TECHNOSPHERA**

Moscow

2018

UDC 681.5 + 628.8

**Life Cycle and Ecology of Plants: Environment Regulation and Management in Agrobiotechnosystems. Collection of Scientific Papers, First Issue.**

**Moscow: IDS INPO – Technosphaera, 2018 – 208 p.**

**Edited by Dr.Sc.Agr, Professor Zelenkov V.N.**

**ISBN 978-5-94836-543-5**

The first issue of the collection of scientific works contains research materials of scientists and engineers from INPO “Institute for Development Strategies” and their colleagues from Russian research institutes and universities.

The collection of articles is divided into 8 thematic chapters:

- *Analytical materials and reviews of agrobiotechnosystems;*
- *Studies on the effectiveness of plant growth regulators for plants of various origins under conditions of phytotron system;*
- *Studies on the effectiveness of different soil substrates for growing plants in a closed sinergotron system;*
- *The effectiveness of nutrient solutions of different composition for cultivating plants under conditions of phytotron system;*
- *The effect of lighting regime on the characteristics of plants growing in a closed sinergotron system;*
- *Quality of plant products and antioxidant properties of plants and soil substrate for cultivating plants in a closed sinergotron system;*
- *Ecology and quality bioassay of plant products growing in a phytotron system;*
- *Disinfection of phytotron and closed sinergotron systems for obtaining ecologically pure products.*

© 2018, INPO “Institute for Development Strategies”

© 2018, TECHNOSPHERA JSC, design

© 2018, Bandurin V. V, Baryshok V. P., Vernik P. A., Volkov M. Y., Eliseeva L. G., Erlykov S. B., Zabolotskaya T. V., Zelenkov V. N., Ivanova M. I., Korshuk V. A., Kosobryukhov A. A., Lapin A. A., Latushkin V. V., Leonova I. B., Novikov V. B., Parshina Ya. Yu., Petrichenko V. N., Poverina N. V., Popov A. I., Potapov V. V., Sinitsyna I. V., Shtaufen A. V.

**ISBN 978-5-94836-543-5 (First Issue)**

**ISBN 978-5-94836-538-18**

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	10
<b>Introduction</b> .....	15
<b>Глава 1. Аналитические и обзорные материалы по агробиотехносистемам</b> .....	19
Анализ мирового опыта использования агробиотехносистем для производства продукции растениеводства <i>Верник П. А., Бандурин В. В., Латушкин В. В., Коришук В. А.</i> .....	19
<b>Глава 2. Исследования эффективности регуляторов роста различного происхождения для выращивания растений в условиях системы фитотрона</b> .....	31
Применение кремнийорганического препарата «Энергия-М» для выращивания салата листового в системе фитотрона ИСР-0.1 <i>Зеленков В. Н., Петриченко В. Н., Иванова М. И., Латушкин В. В., Новиков В. Б., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	31
Проверка комплексного состава препарата на основе 1-этоксисилатрана с крезацином для выращивания салата листового в системе фитотрона ИСР-0.1 <i>Зеленков В. Н., Петриченко В. Н., Иванова М. И., Латушкин В. В., Новиков В. Б., Барышок В. П., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	44
Проверка комплексного состава препарата гидротермального нанокремнезема с крезацином для выращивания салата листового в системе фитотрона ИСР-0.1 <i>Зеленков В. Н., Петриченко В. Н., Иванова М. И., Латушкин В. В., Новиков В. Б., Потапов В. В., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	56
Использование биопрепарата «Глауксин» для повышения урожайности и качества продукции салата листового в системе фитотрона ИСР-0.1 <i>Волков М. Ю., Латушкин В. В., Зеленков В. Н., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	70
Использование препарата «Агровин Са» для повышения урожайности и качества продукции салата листового в системе фитотрона ИСР-0.1 <i>Иванова М. И., Латушкин В. В., Зеленков В. Н., Ерлыков С. Б., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б., Новиков В. Б.</i> .....	82

Проверка раствора гуминовых веществ при некорневой обработке салата листового в системе фитотрона ИСП-0.1 <i>Попов А. И., Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	96
<b>Глава 3. Исследования эффективности различных субстратов почвозаменителей при выращивании растений в условиях фитотрона и закрытой системы синерготрона</b> .....	107
Сравнительная оценка минеральной ваты и кокосового субстрата при выращивании салата листового в гидропонной культуре в условиях системы фитотрона ИСП-0.1 <i>Зеленков В. Н., Попов А. И., Иванова М. И., Латушкин В. В., Новиков В. Б., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	107
Оценка различных почвозаменителей для выращивания салата листового и горчицы салатной в закрытой системе синерготрона ИСП-1.1 <i>Латушкин В. В., Зеленков В. Н., Иванова М. И., Новиков В. Б., Поверина Н. В.</i> .....	116
<b>Глава 4. Эффективность питательных растворов разного состава при выращивании растений в условиях системы фитотрона</b> .....	125
Испытания различных составов питательного раствора для капельного полива салата листового в системе фитотрона ИСП-0.1 <i>Латушкин В. В., Попов А. И., Зеленков В. Н., Иванова М. И., Новиков В. Б., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	125
<b>Глава 5. Влияние режима освещения на характеристики растений при выращивании в закрытой системе синерготрона</b> .....	144
Продуктивность и антиоксидантная активность горчицы салатной при облучении светодиодами красного и синего света в закрытой системе синерготрона ИСП-1.1 <i>Зеленков В. Н., Кособрюхов А. А., Лапин А. А., Латушкин В. В.</i> .....	144

<b>Глава 6. Качество растительной продукции и антиоксидантные свойства салата и почвенного субстрата при выращивании растений в закрытой системе синерготрона</b> .....	155
Антиоксидантная активность и химический элементный состав листьев и субстрата грунта при выращивании салата листового в закрытой системе синерготрона ИСП-1.1 <i>Зеленков В. Н., Лапин А. А., Латушкин В. В., Новиков В. Б.</i> .....	155
<b>Глава 7. Биотестирование растительной продукции на экологичность и качество при выращивании растений в фитотроне</b> .....	169
Возможности применения метода биотестирования для определения пищевой безвредности и качества продукции салата листового, выращенного в условиях системы фитотрона ИСП-0.1 <i>Елисеева Л. Г., Леонова И. Б., Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Паршина Я. Ю., Волков М. Ю., Петриченко В. Н., Потапов В. В.</i> .....	169
<b>Глава 8. Дезинфекция систем фитотрона и синерготрона для получения экологически чистой продукции</b> .....	185
Дезинфекция систем фитотрона ИСП-0.1 и синерготрона ИСП-1.1 для получения экологически чистой продукции <i>Волков М. Ю., Штауфен А. В., Сеницына И. В., Заболоцкая Т. В., Латушкин В. В., Елисеева Л. Г., Леонова И. Б.</i> .....	185
Влияние дезинфектанта «АлкоПерит» на антиоксидантную активность и минеральный состав растений и субстрата грунта при выращивании салата листового в синерготроне ИСП-1.1 <i>Зеленков В. Н., Лапин А. А., Латушкин В. В., Волков М. Ю., Штауфен А. В., Сеницына И. В., Заболоцкая Т. В.</i> .....	197
<b>Авторский указатель</b> .....	207

## Предисловие

Представленные в настоящем сборнике материалы посвящены разработке новой парадигмы производства продукции растениеводства на основе использования нового класса закрытых систем цифрового типа с программным управлением и минимальным участием человека (синерготрон).

Общемировая тенденция сокращения площадей пахотных земель, общей деградации природных экосистем и ухудшения качества потребляемой человеком пищи приводит к необходимости пересмотра существующих подходов к производству продукции растениеводства.

В своем развитии человек постепенно перешел от собирательства (сбора дикорастущих съедобных растений) к отбору и выращиванию полезных растений. Впоследствии постепенно сформировались системы земледелия различной сложности, вначале примитивные (подсечно-огневая, лесопольная, залежная и переложная), затем более совершенные (паровая, паропропашная, зернотравяная и т.д.). Следующим крупным шагом стала идея выращивания растений в защищенном грунте (укрытия, парники, теплицы), т.е. управления большим количеством микроклиматических параметров, чем это возможно в открытом грунте.

Проведенный анализ показывает, что в настоящее время крупное тепличное производство овощной продукции гидропонным методом активно используется в развитых странах мира.

Однако, как показано в статьях настоящего сборника, как бы ни был в целом прогрессивен переход к тепличному производству, имеются существенные отрицательные моменты такого перехода (высокие энергозатраты, применение высоких доз пестицидов, нерациональное использование воды, переработка отходов, проблема ухудшения здоровья работников теплиц и др.). Проблемы тепличного производства, а также классической модели вертикальных ферм в значительной степени связаны с нарушением фундаментальных правил функционирования управляемой агроэкосистемы, в частности отсутствием замкнутости системы. Выращивание растений в открытом грунте — пример незамкнутой системы с практически нерегулируемой средой обитания растений, в которой рост, развитие и урожайность растений почти всецело зависят от непредсказуемых погодных условий. Отметим, что промышленные теплицы и традиционные сити-фермы — пример полузамкнутой системы, где возможности управления средой значительно расширены.

Проведенные АНО «Институт стратегий развития» исследования показывают, что только переход к следующему этапу — созданию закрытых цифровых систем с программно-регулируемым микроклиматом и облачным управлением позволит обеспечить дальнейшее сбалансированное развитие сельского хозяйства.

В мире сложных систем побеждают те из них, которые более закрыты внутри и открыты для взаимодействия с окружающей средой по сложному унифицированному протоколу. В рамках известных подходов, старой парадигмы развития общества и научных исследований, в том числе и в растениеводстве, ресурсы и возможности приобретения новых знаний и технологий практически исчерпаны.

Сегодня приходит понимание необходимости перехода к ноосферному этапу развития сознания человека на планете Земля. Сейчас мы имеем уникальную возможность быть творцами нового мира, а не зрителями. Для этого нужно не только понимание происходящих процессов, но и решимость активно изменяться в умах и в реальной жизни.

Одним из первых практических шагов в данном направлении является разработка АНО «Институт стратегий развития» практического инструмента управления факторами роста и развития растений с учетом синергетического эффекта взаимодействия и взаимовлияния таких факторов. В институте создан новый класс цифровых устройств закрытого типа для выращивания растений и проведения научных исследований в области растениеводства, получивший название «синерготрон».

Синерготрон (англ. — *sinergotron*) — класс цифровых устройств закрытого типа для культивирования биологических объектов на основе программно-управляемой внутренней среды и разработанного языка описания с обратной связью по параметрам влажности, состава культивационных сред, температуры, освещения, акустических воздействий разной частоты, газового состава, движения воздуха и других, вне зависимости от времени года и климатических условий, с существенной экономией ресурсов.

Полнота снятия информации о состоянии среды и полнота регулирования всех условий среды в синерготроне значительно выше возможностей предыдущего класса устройств — фитотронов. Появляется возможность перейти от линейного управления ограниченным набором параметров среды к сложному многомерному управлению комплексом факторов (нелинейная математическая модель с многомерной корреляцией). Тем самым, впервые появляется воз-



возможность управления синергией (взаимодействием факторов), что отражено в названии устройства (синерготрон).

Изменяя комплекс параметров внешних для каждого биологического объекта условий в благоприятную для него сторону, можно добиться максимальной реализации заложенной природой генетической информации, как правило, большей частью нереализуемой по причине расходования энергоресурсов конкретного объекта на адаптацию к неподходящим воздействиям. В синерготроне реализованы возможности проведения широкого спектра испытаний, моделирования и создания природной или искусственной программно-управляемой среды, активизации биологического потенциала объектов на основе применения новых цифровых технологий (большие данные, блокчейн, искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть и др.).

В отличие от открытых и полужамкнутых систем, обеспечение закрытой среды в синерготроне дает возможность высокоточного управления параметрами культивирования в соответствии с периодами онтогенеза при ресурсном комплектном обеспечении до начала каждого цикла. Управление осуществляется с облака вычислений, которое обеспечивает авторизацию пользователя, снятие информации с датчиков и ее обработку, использование данных для многомерного воздействия комплекса параметров в отличие от локального линейного способа регулирования ограниченного перечня факторов в традиционных устройствах. Появляется возможность предотвратить проникновение в закрытое пространство различных поллютантов, их распространение и накопление в конечной продукции.

Тип обработки информации в синерготроне принципиальным образом отличается от фитотрона. Обработка информации в синерготроне выносится в облако с возможностью применения сложных схем хранения и обработки, тогда как в фитотроне — внутри каждого устройства, что затрудняет сбор и анализ данных. Больше нет необходимости вносить сложные управляющие системы в каждое устройство. Все отдельные синерготроны будут управляться дистанционно из распределенного облачного центра.

Кроме ускорения процесса исследований, появляется возможность применения математических методов записи и формализации данных, что облегчает решение задач информационного обмена. При наличии облачной системы происходит мгновенный обмен информацией, в том числе результатов экспериментов в любой точке земного шара. Разработанный единый язык описания внутренних и внешних процессов культивирования биологических

объектов упрощает обмен информацией о результатах экспериментов разными исследователями мира и позволяет унифицировать полученные новые знания.

Технологические возможности синерготрона коренным образом отличают его от традиционных способов работы с биологическими объектами в микробиологии, сельском хозяйстве и других отраслях экономики. Немаловажно также отметить, что пользователи и обслуживающий персонал находятся вне рабочей камеры синерготрона и не подвергаются воздействию неблагоприятных условий, как в современных промышленных теплицах или сити-фермах.

В целом можно уверенно говорить об инновационном универсальном многофункциональном исследовательском и производственном комплексе закрытого типа с функцией облачной обработки информации, что позволяет формировать интеллектуальные растениеводческие системы знаний на основе самообучающихся нейронных сетей. Этот уровень получения научных знаний принципиально отличается от достигнутого в современной агронауке и соответствует шестому технологическому укладу.

В настоящем сборнике научных статей приводятся первые экспериментальные результаты по технологиям выращивания растений, полученные в синерготроне. Эксперименты проводились по следующим направлениям:

- эффективность регуляторов роста растений и биопрепаратов различного происхождения;
- эффективность различных субстратов — почвозаменителей в закрытых системах;
- эффективность различных составов питательных растворов;
- влияние режимов освещения на растения в закрытых системах;
- качество растительной продукции и ее антиоксидантных свойств;
- особенности дезинфекции закрытых систем для получения экологически чистой продукции;
- развитие цифровой платформы в цифровой экономике: использование цифровых технологий (большие данные, блокчейн, искусственный интеллект, искусственные нейронные сети, облачные системы управления и др.) для выработки оптимальных программ управления культивированием биологических объектов.

В дальнейшем Институт стратегий развития планирует продолжить публикацию экспериментальных и теоретических материалов, полученных с помощью нового исследовательского цифрового комплекса «Синерготрон». По мере

накопления экспериментальных материалов информация будет обрабатываться системами искусственного интеллекта синерготрона с формированием экспертной базы по растениеводству для науки и производства.

Мы приветствуем любые формы сотрудничества и проведения совместных научных исследований и практических работ.

С уважением,  
директор автономной  
некоммерческой организации  
«Институт социально-экономических  
стратегий и технологий развития»



П. А. Верник

# Introduction

The materials presented in this collection highlight the development of a new paradigm of plant production based on a new class of closed digital program-controlled systems with minimal human participation (Sinergotron).

The global trend of the decline of arable land, general degradation of natural ecosystems and deteriorating quality of the consumed food require reconsideration of the existing approaches towards crop production.

In the course of human history, gathering (collecting of wild edible plants) was replaced by selection and cultivation of useful plants. Subsequently, farming systems of varying complexity were formed, first primitive (slash-and-burn, forest farming, fallow and swidden), then more advanced (steam, steam farming, grain grass farming, etc.). The next major step was to grow plants indoors (sheltering, hothouses, greenhouses), i.e. managing a larger number of microclimatic parameters than in the open ground.

The analysis shows that large greenhouse industry of vegetable production in soilless culture is being actively used in developed countries.

However, as shown in the articles of this collection, a generally progressive transition to the greenhouse production has significant disadvantages (high energy consumption, high doses of pesticides, inefficient use of water, recycling of waste, deterioration in the health of greenhouse workers, etc.). The problems of greenhouse production, as well as the classical model of vertical farms, are associated mainly with violation of the fundamental rules of functioning of a controlled agricultural ecosystem, in particular the lack of system closeness. Cultivation of plants in an open ground is an example of a non-closed system with a virtually unregulated environment, where plant growth, development and yield almost entirely depend on unpredictable weather conditions. It should be noted that industrial greenhouses and traditional city farms are examples of a semi-closed system with greater possibilities of environment control.

The research of INPO “Institute for Development Strategies” shows that only a transition to the next step — the creation of closed digital systems with a software-controlled microclimate and cloud-based management — will provide further balanced development of agriculture.

In the world of complex systems, only those that are more closed inside and open during interaction with the environment through a complex unified protocol can win. Within the well-known approaches and the old paradigm of society and research development including crop production, the resources and opportunities to acquire new knowledge and technologies have been almost exhausted.

Today people gradually begin to understand the importance of transition to the noospheric stage of development of human consciousness on the planet Earth. Nowadays we have a unique opportunity to become creators of the new world, not just its audience. To do this, we should not only understand the occurring processes, but also be ready to actively change our minds in real life.

One of the first practical steps in this direction is the development of a practical tool to manage the factors of plant growth and development considering the synergy of interaction and mutual influence of such factors. The Institute has created “Sinergotron” — a new class of digital closed devices for growing plants and research in the area of plant cultivation.

Sinergotron is a class of closed digital devices for cultivating biological objects based on a program-controlled internal environment and a developed description language with feedback on the following parameters: humidity, composition of cultivation environments, temperature, lighting, acoustic effects of different frequencies, gas composition, air movement and others, regardless of the time of year and weather conditions with substantial economy of resources.

The completeness of information on the environment status and regulation of environmental conditions in sinergotron is much higher than that of devices of the previous class — phytotrons. It provides an opportunity to move from linear control of limited environment parameters to a complex multidimensional management of several factors (nonlinear mathematical model with multivariate correlation). Thus, there is an opportunity to manage synergy (interaction of factors), as reflected in the name of the device (Sinergotron).

Modifying the parameters of external conditions for each biological object in a favorable direction one can achieve the maximum realization of genetic information usually inaccessible due to the energy expenditure of a certain object on adaptation to stress. Sinergotron allows various forms of testing, modeling and creating natural or artificial software-controlled environment, activating the biological potential of objects through the use of new digital technologies (large data, blockchain, artificial intelligence, artificial neural network, etc.).

In contrast to the open and semi-enclosed systems, isolation of environment in sinergotron allows high-precision controlling of cultivation parameters under periods of ontogenesis under resource provision before the start of each cycle. The management is implemented through the computing cloud, which provides authorization for the user, retrieval of information from sensors and its processing, the use of data for the multidimensional impact of a complex of parameters, unlike the local linear method of regulation of a limited list of factors in traditional applications.

There is an opportunity to prevent the penetration of various pollutants into the closed space, their propagation and accumulation in the final product.

The type of information processing in sinergotron greatly differs from the one used in phytotron. In sinergotron the information is processed in the cloud with the possibility of applying complex schemes for storage and processing, whereas in phytotron it is processed inside each device, making it difficult to collect and analyze data. It is no longer necessary to make complex control systems in each device. All the individual sinergotrons will be controlled remotely from the distributed cloud center.

In addition to speeding up the research process, it becomes possible to implement mathematical methods of data recording and formalization, which facilitates solving the problems of information exchange. A cloud-based system allows the instantaneous exchange of information, including the results of experiments anywhere in the world. A single language for the description of internal and external processes of cultivation of the biological objects simplifies the exchange of information on the results of experiments between scientists all over the world and allows unifying the knowledge obtained.

The technological capacities of sinergotron fundamentally distinguish it from other approaches towards biological objects in microbiology, agriculture and other sectors of economy. It is also important to note that users and service personnel are always outside the working chamber of sinergotron and are not exposed to adverse conditions typical of modern industrial greenhouses or city farms.

In general, one can confidently speak about the innovative universal multifunctional research and production complex of closed type with cloud-based information processing function that allows creating intelligent plant cultivation systems based on self-learning neural networks. This level of scientific knowledge is fundamentally different from the one achieved in modern agricultural science and corresponds to the sixth technological mode.

The present collection of scientific papers provides the first experimental results on the technologies for plant production in a sinergotron. Experiments were conducted in the following areas:

- the effectiveness of plant growth regulators and biopreparations of different origin;
- the effectiveness of different soil substituting substrates in closed systems;
- the effectiveness of various compositions of nutrient solutions;
- the impact of lighting on plants in closed systems;
- the quality of plant products and their antioxidant properties;

- the specificities of disinfection of closed systems for growing organic products;
- the development of a digital platform in the digital economy: using digital technologies (large data, blockchain, artificial intelligence, neural networks, cloud control systems, etc.) to work out best programs for controlled cultivation of biological objects.

The Institute is planning to publish experimental and theoretical materials obtained using the new digital research complex “Sinergotron”. The incoming experimental information will be managed by artificial intelligence systems of sinergotron with the creation of an expert base on plant cultivation for research and production.

We welcome any forms of cooperation and joint scientific research or practical work.

With best regards,  
Director of the Independent  
Non-Profit Organization  
“Institute for Socio-Economic Strategies  
and Development Technologies”



P.A. Vernik

**Глава I. Аналитические и обзорные материалы  
по агробиотехносистемам**  
**Chapter I. Analytical and Review Materials  
on Agrobiotechnosystems**

УДК 338.43

DOI: 10.22184/978-5-94836-543-5-17-28

**Анализ мирового опыта использования  
агробиотехносистем для производства  
продукции растениеводства**  
**Analyzing the global experience in applying  
agrobiotechnosystems for plant production**

**Верник П. А., Бандурин В. В., Латушкин В. В., Коршук В. А.**

*Автономная некоммерческая организация «Институт социально-экономических стратегий и технологий развития», г. Москва*

**Vernik P. A., Bandurin V. V., Latushkin V. V., Korshuk V. A.**

*INPO “Institute for Development Strategies”, Moscow.*

В работе представлен обзор производства продуктов питания с использованием различных вариантов технической и технологической реализации производства растениеводческой продукции в условиях защищенного грунта и развития нового направления по созданию агробиотехносистем различных модификаций. Приведены данные по созданию нового поколения агробиотехносистем класса «синерготрон» с использованием цифровых технологий поддержания и управления условиями искусственной экосреды жизнедеятельности растений с программным управлением техническими системами обеспечения и контроля параметрами среды и физико-химическими, физиологическими показателями развития растений.

The research provides an overview of crop production through different technical and technological realization of the process of growing plants in greenhouse conditions and developing a new direction for the creation of agrobiotechnosystems



of various modifications — phytotrons. The paper presents data on the creation of a new generation of agrobiotechnosystems — sinergotrons using digital technologies for maintaining and managing the conditions of an artificial environment for plants with software-controlled support and control of environment parameters, along with physical, chemical and physiological indicators of plant development.

**Ключевые слова:** защищенный грунт, закрытые системы, растения, фитотрон, синерготрон, цифровые технологии, сити-фарминг, продукты питания.

**Keywords:** protected ground, closed systems, plants phytotron, sinergotron, digital technologies, city-pharming, foodstuffs.

В последние десятилетия XX и в XXI веке с ростом научно-технического прогресса меняются социально-экономические условия, продолжается деградация природных систем, обеспечивающих возможность самого существования человека.

Развитие научных знаний в области земледелия и растениеводства тесно связано с развитием человеческого разума, возникновением практического запроса на новые идеи в области выращивания растений. Постепенный переход от описательного подхода к биологии и технологий выращивания растений к экспериментальному позволил добиться серьезных успехов в области повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Выдающийся русский биолог Климент Аркадьевич Тимирязев писал: «Культура поля всегда шла рука об руку с культурой человека». Начав с собирательства (сбора дикорастущих съедобных растений), человек постепенно перешел к отбору и выращиванию полезных растений недалеко от своего жилища. Логика дальнейшего развития привела к созданию систем земледелия, вначале примитивных систем (подсечно-огневая, лесопольная, залежная и переложная), затем более сложных (паровая, паропропашная, зернотравяная и т.д.) [5].

Следующим крупным шагом стала идея выращивать растения в защищенном грунте (укрытия, парники, теплицы), т. е. управлять большим количеством микроклиматических параметров, чем это возможно в открытом грунте.

Начиная с 30-х годов XX века происходит коммерческое распространение гидропоники — метода выращивания растений, при котором вместо природной почвы используются различные субстраты — почвозаменители (гравий, щебень, керамзит, минеральная вата, кокосовое волокно и др.). В настоящее