



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

К 95-летию С.П.Курдюмова

К 95-летию
со дня рождения
С.П. Курдюмова



Горизонты
математического моделирования
и теория самоорганизации

А.А. Кочкаров, А.К. Куликов,
Б.В. Румянцев

**Опыт применения и перспективы
использования искусственного
интеллекта в области
агробиотехнологий**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Кочкаров А.А., Куликов А.К., Румянцев Б.В. Опыт применения и перспективы использования искусственного интеллекта в области агробиотехнологий // Горизонты математического моделирования и теория самоорганизации. К 95-летию со дня рождения С.П. Курдюмова. — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2024. — С. 144-153.

<https://doi.org/10.20948/k95-8>

<https://keldysh.ru/e-biblio/k95/8.pdf>

Опыт применения и перспективы использования искусственного интеллекта в области агробιοтехнологий

А.А. Кочкаров, А.К. Куликов, Б.В. Румянцев

ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН

Аннотация. В работе рассматриваются актуальные направления цифровизации и интеллектуализации производственного направления сельского хозяйства. Описан опыт авторов по применению технологий искусственного интеллекта при работе с вертикальными автономными фермами, как с одним из видов городских агропроизводств. Выделен ряд вопросов, требующих дальнейших исследований для повышения эффективности использования городских агропроизводств. Отдельно рассмотрены вопросы изменения времени выращивания, размера, массы, концентрации требуемых (полезных) веществ и содержания вторичных метаболитов растений, выращиваемых в контролируемых и управляемых условиях автономных городских агропроизводств. В работе также предложена синергетическая гипотеза «управления стрессом растений», как инструмента для выявления параметров порядка в управлении вегетацией (развитием) растений для достижения целевых показателей их продуктивности.

Ключевые слова: Технологии искусственного интеллекта, агробιοтехнологии, автономные агропроизводства, машинное обучение, синергетика, управление стрессом растений, биоэкономика, природоподобные технологии

Agrobiotechnologies: Experience in using and prospects for using artificial intelligence

Kochkarov A.A., A.K. Kulikov, B.V. Rumyantsev

RAS Federal Research Centre “Fundamentals of Biotechnology”

Abstract. The paper examines current trends in digitalization and intellectualization of the agricultural production sector. The authors' experience in using artificial intelligence technologies when working with vertical autonomous farms, as one of the types of urban agricultural production, is described. A number of issues are identified that require further research to improve the efficiency of use of urban agricultural production. Separately, the issues of changing the growing time, size, weight, concentration of required (useful) substanc-

es and the content of secondary metabolites of plants grown in controlled and managed conditions of autonomous urban agricultural production are considered. The work also proposes a synergistic hypothesis of “plant stress control”, as the identification of order parameters in the management of plant vegetation (development) to achieve target indicators of their productivity.

Keywords: artificial intelligence technologies, agrobiotechnologies, autonomous agricultural production, machine learning, synergetics, plant stress control, bioeconomy, nature-like technologies

Введение

Инновационные исследования в сельском хозяйстве имеют огромное значение для развития экономики и обеспечения продовольственной безопасности страны. Инновации в этой сфере способствуют повышению урожайности, улучшению качества продукции и снижению затрат на производство. Также инновационные технологии позволяют более эффективно использовать природные ресурсы и бороться с экологическими проблемами. Кроме того, развитие инновационных исследований в сельском хозяйстве способствует созданию новых рабочих мест и повышению уровня жизни населения. В контексте цифровой трансформации сельского хозяйства в России [1] основным направлением развития является цифровое агропроизводство.

Вместе с тем пока остается открытым вопрос об эффективности применения технологий искусственного интеллекта как в исследованиях, связанных с увеличением продуктивности культурных растений, так и с организацией агропроизводств.

Одним из ключевых направлений исследований в сфере агробiotехнологий и физиологии растений является изучение стресса (в первую очередь абиотического) растений при изменении погодных (климатических) условий их естественной среды обитания [2]. С другой стороны, как уже известно [3-5], изменение условий среды выращивания культурных растений может привести к росту их продуктивности. Контроль и управление такими условиями организуется в автономных агропроизводствах (сити-фермы, умные теплицы). Современные цифровые технологии позволяют достаточно эффективно собирать с необходимого набора датчиков данные о параметрах, описывающих микроклимат внутри помещений автономных агропроизводств. Такие инженерные и технологические возможности позволяют не только проводить в масштабе реального времени мониторинг состояния растений и изменения микроклимата, но и становятся основой для проверки или подтверждения синергетической гипотезы «управления стрессом растений». А именно, выявления параметров порядка в управлении вегетацией (развитием) растений для достижения целевых показателей их продуктивности [6-8].

Цифровое агропроизводство

Цифровое или «умное» агропроизводство является важным аспектом современного сельского хозяйства. Этот подход включает в себя активное использование информационных технологий, автоматизацию процессов и анализ данных. Применение датчиков и систем мониторинга позволяет собирать информацию о состоянии растений и почвы, на основе которой можно создавать оптимальные условия для их роста. Роботы и дроны, показанные на рис. 1 и 2, выполняют рутинные задачи, такие как обработка полей, сбор урожая и контроль за состоянием растений, что снижает затраты на ручной труд и повышает общую эффективность работы фермы. В результате улучшается качество продукции, повышается производительность и обеспечивается устойчивое развитие сельскохозяйственного сектора.



Рис 1. Беспилотный летательный аппарат для работы на открытом грунте

В рамках цифрового агропроизводства стоит выделить следующие тренды развития:

- *точное земледелие на открытом грунте*: GPS навигация, дистанционный мониторинг земельных участков с помощью геоинформационных систем (ГИС), анализ состояния почвы, дифференциальный полив и внесение удобрений;
- *роботизация*: беспилотная техника, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для мониторинга, датчики в почве;
- *программное обеспечение и Интернет вещей*: анализ данных, разработка сценариев управления агропроизводствами;

- *городские агропроизводства*: контроль микроклимата, умные теплицы (сити-фермы), ускоренная селекция, исследование стресса растений;
- *прогнозирование* с учетом сложных климатических условий.

Работа посвящена исследованию и практическому применению городского агропроизводства [2-4], а также использованию искусственного интеллекта для анализа влияния микроклимата в замкнутых агроэкосистемах на рост растений.



Рис 2. Беспилотный наземный автономный робот для сбора урожая

Агропроизводство в городских условиях

Агропроизводство в городских условиях представляет собой процесс выращивания сельскохозяйственных культур и разведения животных на территории города или в его окрестностях. Это направление агропромышленного комплекса позволяет обеспечить город свежими и экологически чистыми продуктами питания, а также создает зеленые зоны для отдыха жителей и улучшения качества воздуха. Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук (ФИЦ биотехнологий РАН) обладает экспериментальной автоматизированной вертикальной фермой как видом агропроизводства в городских условиях, показанной на рис. 3.

В рамках городских агропроизводств есть следующий список вопросов и направлений для исследования:

- замкнутый микроклимат: выращивание без применения пестицидов;
- контроль ресурсов: оптимизация использования электричества, воды, питательных веществ, площади;
- логистика: оптимизация транспортной логистики для городских агломераций;
- природоподобный городской ландшафт;
- свежесть и вкусовые качества продуктов.



Рис 3. Автоматизированная вертикальная ферма ФИЦ биотехнологий РАН

Основная задача в рамках агропроизводств заключается в определении параметров микроклимата в контролируемой среде для достижения целевых показателей для определенных видов сельскохозяйственных культур. Также важно создание адаптивных систем управления для регулирования процесса выращивания растений. Одним из основных способов решения поставленных задач является использование искусственного интеллекта. В связи с этим необходимо структурное представление агропроизводства, на рис. 4. Городское агропроизводство (сити-ферма, вертикальная ферма) – это комплекс технологий и средств производства продовольственного сырья (выращивания растений) в замкнутой среде с контролируруемыми в полностью автоматическом режиме агроклиматическими параметрами. Управляемыми параметрами являются тип субстрата, режим освещения. Контролируемыми параметрами являются уровень влажности почвы, температура воздуха в помещении, уровень концентрации углекислого газа, уровень влажности воздуха в помещении. Выходные (результатирующие) параметрами, являются время выращивания, размер, масса, концентрация требуемых (полезных) веществ, содержание вторичных метаболитов.

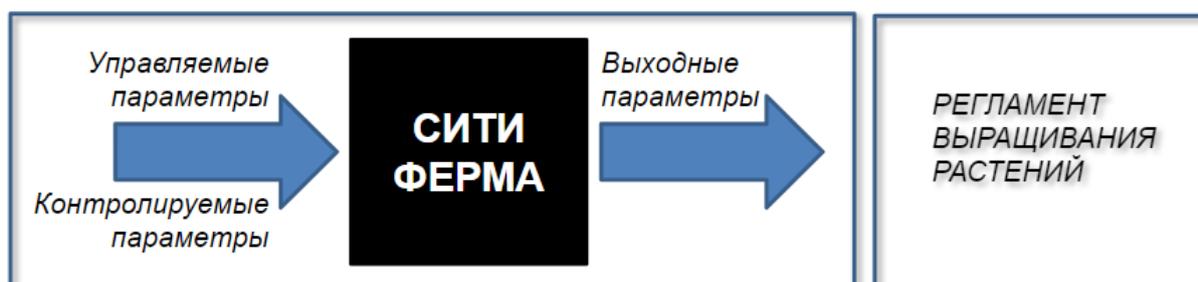


Рис 4. Представление городского агропроизводства

Использование искусственного интеллекта в агропроизводствах

Одним из примеров использования интеллекта является исследование взаимного влияния параметров микроклимата, таких как температура, влажность и концентрация углекислого газа, а также спектрального состава света, влажности и количества торфа в субстрате[2]. Исследование проводилось в рамках выращивания сорта картофеля "Новатор" на экспериментальной автоматизированной вертикальной ферме института «Основы биотехнологии» Российской академии наук. На основе корреляционного и фурье-анализа зависимостей влажности почвы и концентрации углекислого газа от времени показано, что после полива картофеля наблюдается замедленное на 56 ч снижение концентрации углекислого газа в помещении для выращивания, что может быть объяснено замедленным увеличением интенсивности процесса фотосинтеза. Более того, сравнение зависимости CO_2 от времени с динамикой освещения в масштабе одного дня указывает

на наличие внутреннего суточного биологического ритма скорости поглощения CO_2 , который не зависит от условий внешнего освещения. Кроме того, путем анализа зависимостей параметров микроклимата и спектрального состава освещения с течением времени было установлено, что включение освещения влияет на параметры микроклимата, что можно объяснить нагревом светодиодов, используемых для освещения. Более того, множественный регрессионный анализ параметров микроклимата и влажности почвы показал, что увеличение содержания торфа в субстрате приводит к переходу от решающего влияния влажности воздуха на влажность почвы к доминирующему влиянию температуры воздуха.

В связи с наличием в ФИЦ биотехнологий РАН автоматизированной вертикальной фермы были собраны данные из нескольких сотен тысяч замеров с датчиков. По результатам чего были найдены зависимости параметров микроклимата (температура и влажность воздуха, концентрация CO_2), влажности почвы и освещения в сити-ферме, а именно:

- эффект запаздывания отклика растения на полив в виде повышения интенсивности фотосинтеза относительно момента полива;
- красная часть спектра освещения имеет большее влияние на показатели концентрации углекислого газа, влажности и температуры воздуха, чем синяя спектральная область освещения;
- на влажность почвы имеет влияние интенсивность работы ламп, а не их спектральный состав.

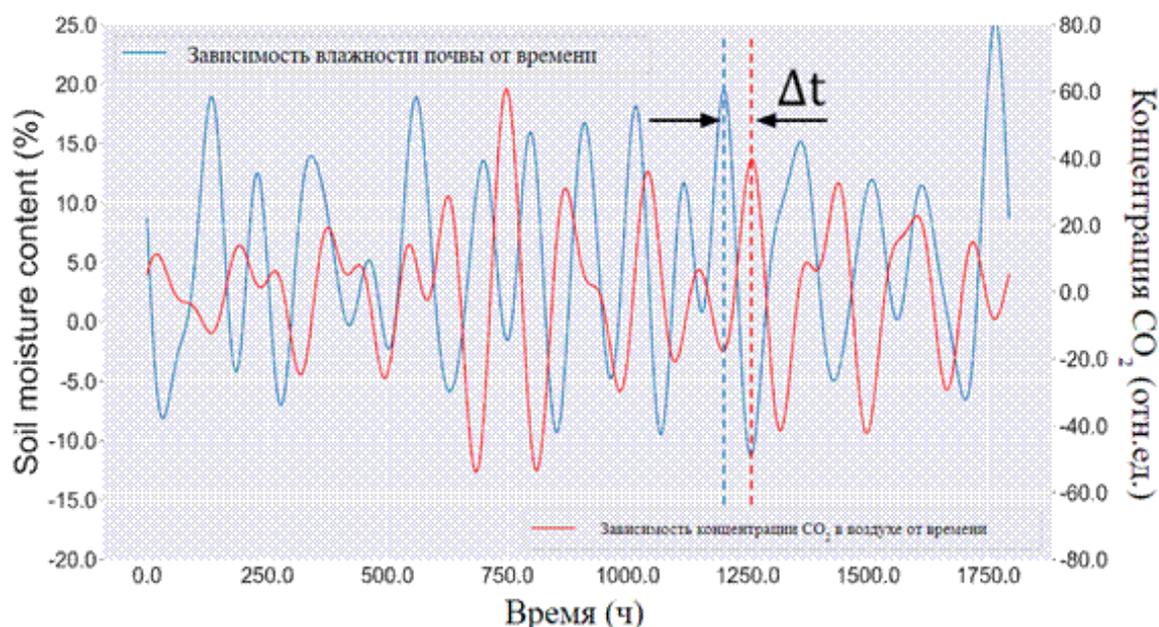


Рис 5. Отфильтрованные зависимости содержания влаги в почве и концентрации CO_2 от времени в диапазоне

Кроме этого, благодаря использованию искусственного интеллекта установлен переход от доминирующего влияния влажности воздуха на

влажность субстрата к доминирующему влиянию температуры воздуха на влажность субстрата с увеличением концентрации торфа в субстрате, что может объясняться увеличением эффективности процесса испарения за счет повышения пористости субстрата при добавлении торфа.

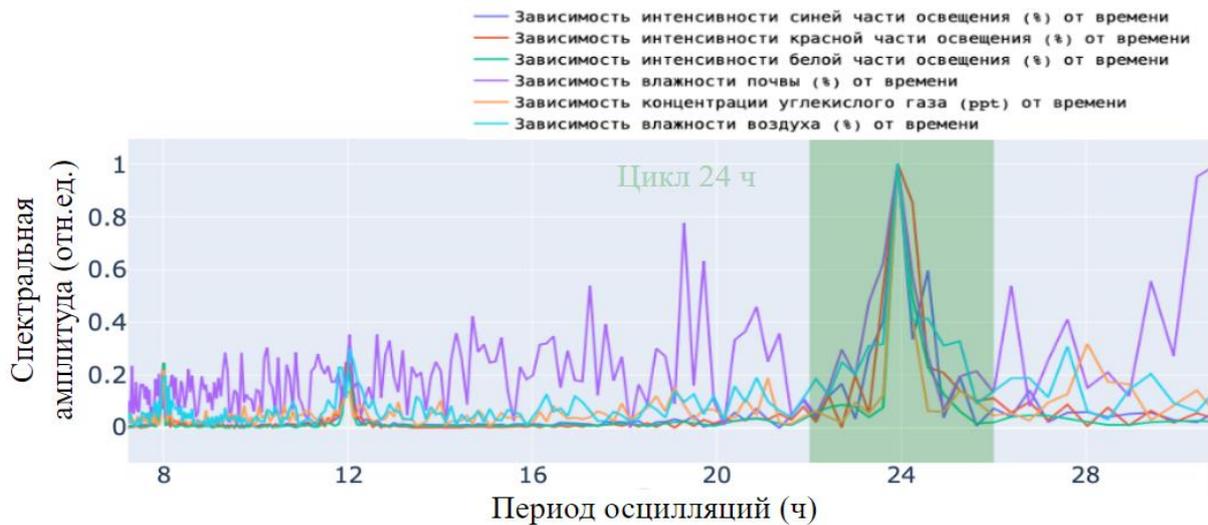


Рис 6. Амплитудный спектр для микроклимата, освещенности и влажности почвы зависит от временных зависимостей

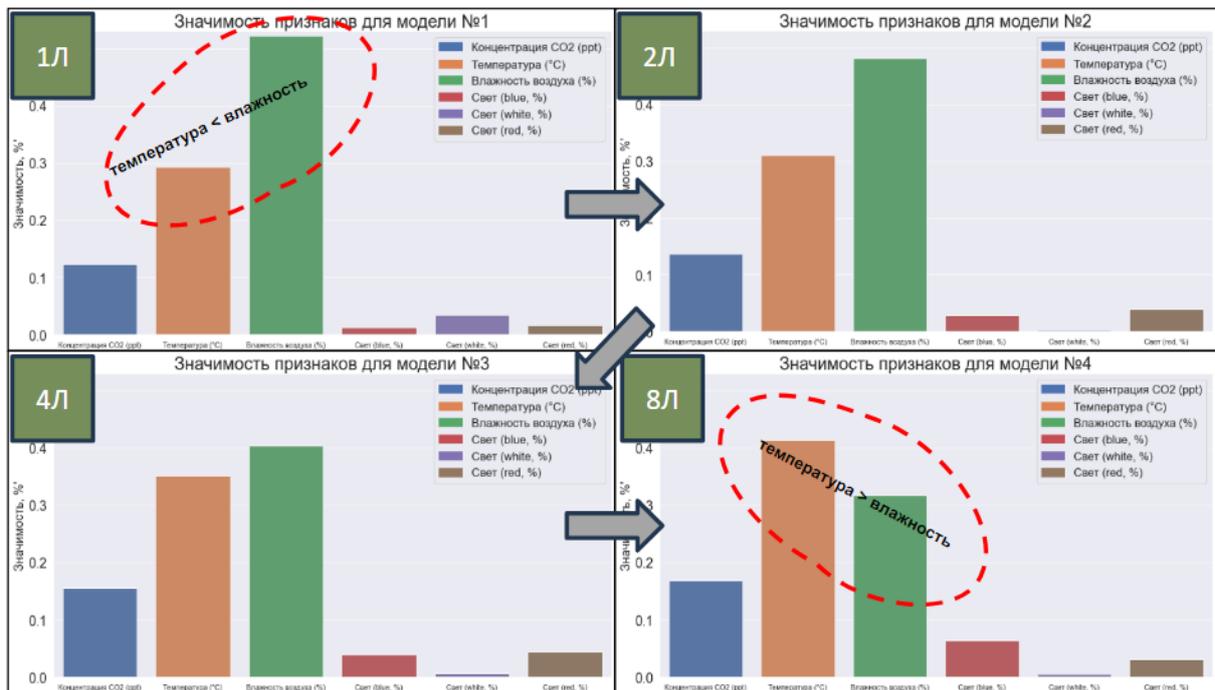


Рис 7. Ключевые параметры микроклимата в сити-ферме. В субстрате было 16 литров. Сверху слева показано, сколько литров торфа тогда было в нем. Видно, что в зависимости от этого показателя параметры порядка меняются

Используя собранные данные с датчиков была обучена модель прогнозирования средней влажности почвы по заданным значениям температуры и влажности воздуха, а также концентрации CO_2 и интенсивности освещения.

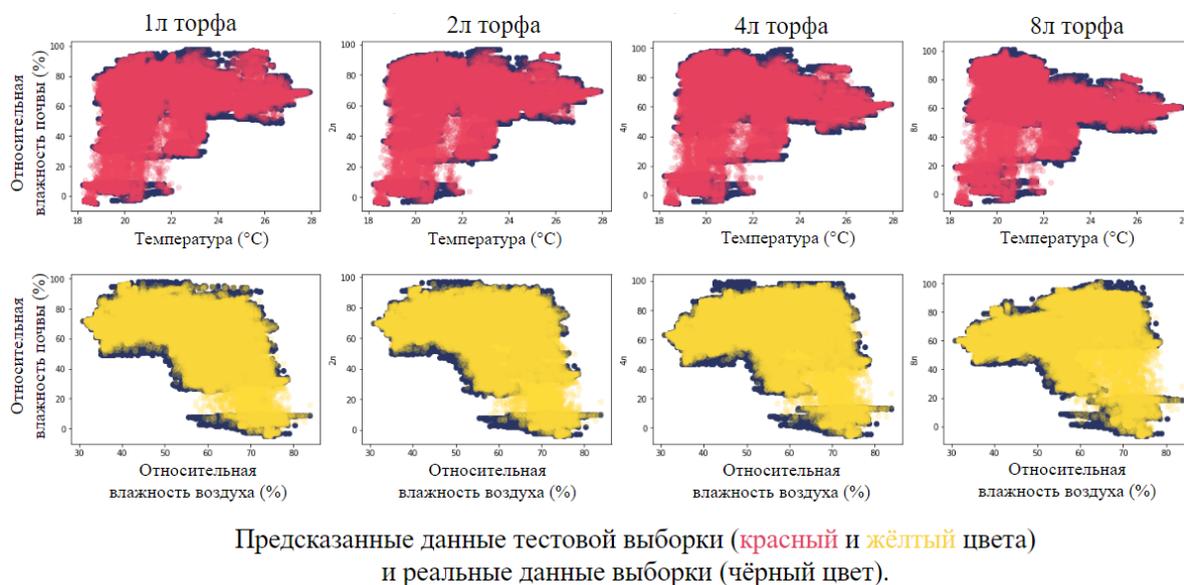


Рис 8. Прогнозирование средней влажности почвы по заданным параметрам микроклимата

Исходя из представленной выше информации, можно сделать вывод о том, что Обученная модель корректно воспроизводит валидационные экспериментальные данные.

Заключение

В работе проведен анализ агропроизводств и трендов развития. Показан положительный эффект от использования искусственного интеллекта при анализе данных с датчиков автоматизированной вертикальной фермы. Стоит заметить, что спектр вопросов для дальнейшего исследования обширен для повышения эффективности выходных параметров городских агропроизводства именно: время выращивания, размер, масса, концентрация требуемых (полезных) веществ, содержание вторичных метаболитов. Одним из системных способов решения данных вопросов является проведение исследований в области создания систем управления автономными агропроизводствами.

Настоящее исследование призвано продемонстрировать возможности использования формирующихся подходов в исследовании живых систем с применением современных технологий искусственного интеллекта. Разрешение синергетической гипотезы «управления стрессом растений» может оказаться основой для развития биоэкономики и природоподобных

технологий [9] как в масштабе отдельно взятой страны, так и в мировом масштабе.

Литература

1. *Архипов А.Г., Косогор С.Н. и др.* Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.
2. *Каримова Л.З., Колесар В.А. и др.* Биологическая защита растений от стрессов. Учебное пособие для вузов. – М.: Лань, 2024.
3. *Kamenchuk V. Rumiantsev B. et al.* Analysis of cross-influence of microclimate, lighting, and soil parameters in the vertical farm // *Agronomy*. 2023, 13, 2174.
4. *Rumiantsev B., Dzhatdоеva S. et al.* Analysis of the potato vegetation stages based on the dynamics of water consumption in the closed urban vertical farm with automated microclimate control // *Agronomy*. 2023, 13, 954.
5. *Rumiantsev B., Dzhatdоеva S. et al.* A model for the determination of potato tuber mass by the measurement of carbon dioxide concentration // *Plants* 2023, 12, 2962.
6. *Веселова Т.В., Веселовский В.А., Чернавский Д.С.* Стресс у растений (Биофизический подход). – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1993. – 144 с.
7. *Дорохов А.С., Гришин А.П., Гришин А.А.* Принципы синергетики и эксергетического моделирования для управления продукционными процессами в закрытых искусственных агроэкосистемах (ЗИАЭС) // *Агротехника и энергообеспечение*. 2019, 3(24), 128-139
8. *Измайлов А.Ю., Артюшин А.А. и др.* Цифровые технологии химизации сельского хозяйства: теория и практика. – М.: ФНАЦ ВИМ, 2020. – 184 с.
9. Горизонты синергетики: Структуры, хаос, режимы с обострением / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М: ЛЕНАНД, 2019. – 464 с.