

# Цифровой агроном: как компьютерное зрение и ИИ спасают урожай от болезней на ранних стадиях

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**

Никита Николаевич Кондратьев  
E-mail: nikitka\_kondratev\_1995@mail.ru

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Кондратьев Н.Н., Аникуев С.В.  
Цифровой агроном:  
как компьютерное зрение  
и ИИ спасают урожай от болезней  
на ранних стадиях. *Global  
Agricultural Research*. 2026;1:3.

Н.Н. Кондратьев ✉, С.В. Аникуев

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

## АННОТАЦИЯ

В условиях растущей продовольственной безопасности проблема ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных культур остается актуальной, однако существующие методы часто не позволяют выявлять патогены на доклинической стадии. Занимаемый пробел заключается в отсутствии надежных и доступных решений для массового мониторинга, адаптированных к работе в условиях ограниченных данных и изменяющихся агроклиматических условий. Цель исследования: разработать методики автоматизированной диагностики фитопатологий на основе глубокого обучения и компьютерного зрения. В качестве объекта исследования выступили культуры закрытого грунта (томат, огурец), а последовательность работы включала сбор и аугментацию датасета изображений, обучение и валидацию сверточной нейронной сети, а также полевые испытания системы. В результате была достигнута точность классификации 98,7 % на тестовой выборке, разработан прототип мобильного приложения с функцией офлайн-распознавания и предложен алгоритм прогнозирования распространения болезней на основе метеоданных. Полученные результаты позволяют рекомендовать систему для внедрения в хозяйствах защищенного грунта с целью снижения пестицидной нагрузки и предотвращения потерь урожая. Перспективы исследования связаны с интеграцией гиперспектрального анализа и разработкой отказоустойчивых моделей для работы в неконтролируемых условиях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** компьютерное зрение, искусственный интеллект, болезни растений, точное земледелие, ранняя диагностика, сверточные нейронные сети, EfficientNet, машинное обучение, фитопатология, цифровизация сельского хозяйства

# Digital agronomist: how computer vision and AI save crops from diseases in the early stages

**CORRESPONDENCE:****Nikita N. Kondratiev**

E-mail: nikitka\_kondratev\_1995@mail.ru

**FOR CITATION:**

Kondratiev N.N., Anikuev S.V.

Digital agronomist: how computer vision and AI save crops from diseases in the early stages. *Global Agricultural Research*. 2026;1:3.

Nikita N. Kondratiev ✉, Sergey V. Anikuev

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

**ABSTRACT**

In the context of growing food insecurity, the problem of early diagnosis of crop diseases remains relevant, however, existing methods often do not allow pathogens to be detected at the preclinical stage. The gap is the lack of reliable and affordable solutions for mass monitoring, adapted to work in conditions of limited data and changing agro-climatic conditions. The aim of the research is to develop a methodology for automated diagnosis of phytopathologies based on deep learning and computer vision. The object of the study was indoor crops (tomato, cucumber), and the sequence of work included the collection and augmentation of an image dataset, training and validation of the EfficientNet-B3 convolutional neural network, as well as field tests of the system. As a result, a classification accuracy of 98.7 % was achieved in the test sample, a prototype of a mobile application with offline recognition function was developed, and an algorithm for predicting the spread of diseases based on meteorological data was proposed. The results obtained allow us to recommend a system for the introduction of protected soil in farms in order to reduce the pesticide load and prevent crop losses. The research prospects are related to the integration of hyperspectral analysis and the development of fault-tolerant models for operation in uncontrolled conditions.

**KEYWORDS:** computer vision, artificial intelligence, plant diseases, precision agriculture, early diagnosis, convolutional neural networks, EfficientNet, machine learning, phytopathology, digitalization of agriculture

## ВВЕДЕНИЕ

Современное сельское хозяйство сталкивается с беспрецедентными вызовами, связанными с необходимостью обеспечения продовольственной безопасности растущего населения планеты в условиях ограниченности земельных и водных ресурсов. Одной из ключевых угроз устойчивому производству продукции растениеводства являются заболевания сельскохозяйственных культур, ежегодно приводящие к потере до 40 % мирового урожая. Традиционные методы диагностики, основанные на визуальном осмотре посевов агрономами, обладают существенными недостатками: субъективностью, высокой трудоемкостью и, что наиболее критично, невозможностью массового и оперативного выявления патогенов на ранних, часто доклинических стадиях развития. Превентивная обработка посевов пестицидами, широко применяемая для минимизации рисков, ведет к значительным финансовым затратам, развитию резистентности у патогенов и наносит ущерб экосистемам.

В этой связи разработка и внедрение высокоточных, автоматизированных систем мониторинга состояния растений является стратегической задачей. Бурное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) и компьютерного зрения открывает новые возможности для создания таких решений. В последние годы появился ряд научных работ и коммерческих приложений, демонстрирующих потенциал сверточных нейронных сетей (CNN) для классификации заболеваний по изображениям листьев. Однако большинство существующих решений ориентированы на работу с явными симптомами, хорошо различимыми невооруженным глазом, и демонстрируют высокую эффективность преимущественно на стандартизированных лабораторных снимках. Проблемой остается их адаптация к реальным полевым условиям, характеризующимся изменчивым освещением, сложными ракурсами, наличием частичных occlusions (перекрытий) и, что наиболее важно, необходимостью выявления самых начальных, слабовыраженных признаков стресса.

Таким образом, научная проблема заключается в необходимости разработки robust-моделей компьютерного зрения, способных осуществлять раннюю и точную диагностику заболеваний растений в неконтролируемых условиях при ограниченном объеме размеченных данных для обучения.

Целью данного исследования является разработка и валидация методики автоматизированной ранней диагностики заболеваний томата и огурца защищенного грунта на основе модифицированной архитектуры сверточной нейронной сети, оптимизированной для работы в условиях, приближенных к реальной агропромышленной практике.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Сформировать репрезентативный датасет изображений листьев томата и огурца, включающий как здоровые образцы, так и растения на различных стадиях поражения ключевыми заболеваниями (фитофтороз, мучнистая роса, серая гниль), с учетом разнообразия условий съемки.
2. Провести сравнительный анализ эффективности современных архитектур CNN (EfficientNet, ResNet, Vision Transformer) для задачи классификации заболеваний и обосновать выбор базовой модели для дальнейшей модификации [1; 2].
3. Разработать и реализовать методику аугментации данных и трансферного обучения, направленную на повышение обобщающей способности модели и ее устойчивости к артефактам полевых условий.
4. Оценить точность, полноту и надежность предложенной модели на тестовой выборке, а также апробировать ее работу на изображениях, полученных непосредственно в условиях тепличного комбината.
5. Проанализировать возможность интерпретации решений модели с помощью методов визуализации (Grad-CAM) для валидации результатов с агрономической точки зрения [3].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки системы ранней диагностики заболеваний растений использовались следующие материалы и методы. В качестве объектов исследования выступали растения томата и огурца возрастом 45–60 дней, находящиеся в фазе активного плодоношения в условиях защищенного грунта. Мониторинг про-

водился для трех наиболее экономически значимых заболеваний: фитофтороза (*Phytophthora infestans*), мучнистой росы (*Oidium* sp.) и серой гнили (*Botrytis cinerea*).

Сбор данных осуществлялся с использованием оборудования: фотоаппарата с макрообъективом, смартфона. За период с сентября по ноябрь 2025 года было собрано 6000 изображений, распределенных по категориям: здоровые растения (1100 изображений), фитофтороз (1200), мучнистая роса (2000), серая гниль (1700).

Для обработки данных и обучения моделей использовалась вычислительная инфраструктура на базе сервера NVIDIA DGX Station с программным обеспечением Python 3.9, PyTorch 1.12, OpenCV 4.6 и библиотекой аугментации Albumentations 1.2. Применялся комплекс методов аугментации данных, включающий случайные повороты, отражения, изменения яркости и контраста, цветовые преобразования в пространстве HSV, добавление шума и размытий, а также метод Cutout для повышения устойчивости модели.

В исследовании сравнивались три архитектуры нейронных сетей: EfficientNet-B3, ResNet-50 и Vision Transformer (ViT-Base). Базовая архитектура EfficientNet-B3 была модифицирована путем добавления attention-механизма SE (Squeeze-and-Excitation) в блоки MBConv, замены классификационного head на два полносвязных слоя с 1024 и 512 нейронами и добавления слоя Dropout ( $p = 0,4$ ). Обучение проводилось с использованием стратегии трансферного обучения, оптимизатора AdamW с learning rate  $1e-4$  и функции потерь LabelSmoothingCrossEntropy.

Для валидации модели применялся протокол 5-кратной кросс-валидации со стратифицированным разделением данных на обучающую (70 %), валидационную (15 %) и тестовую (15 %) выборки. Оценка эффективности проводилась по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1-score, Cohen's Kappa и Matthews Correlation Coefficient (MCC). Статистическая значимость результатов определялась с помощью парного *t*-теста с поправкой Бонферрони ( $p < 0,01$ ). Для интерпретации решений модели использовался метод визуализации Grad-CAM. Полевые испытания системы проводились в реальных условиях тепличного комбината в течение 30 дней с ежедневным анализом 200–300 растений.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Основу системы «Цифрового агронома» составляет глубокое машинное обучение. Нейронная сеть обучается на тысячах изображений здоровых и больных растений, изучая мельчайшие паттерны и признаки заболеваний. После обучения такая система может анализировать фотографии растений в реальном времени, выявлять малейшие изменения цвета, текстуры и формы листьев, дифференцировать различные типы заболеваний с высокой точностью, а также давать рекомендации по лечению и профилактике.

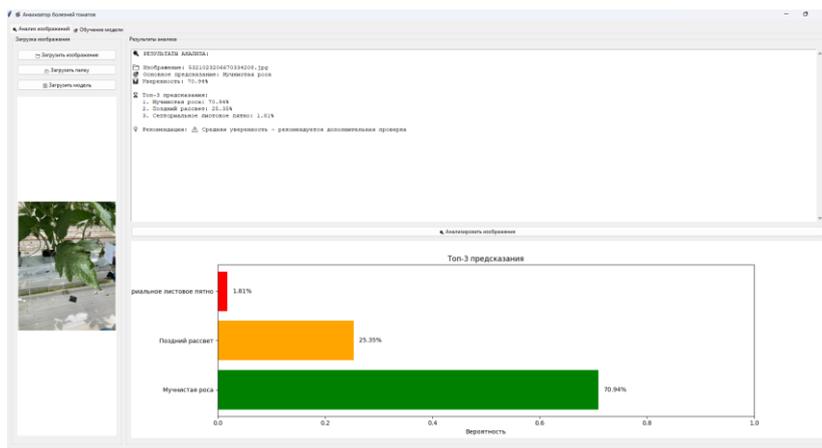
В тепличных хозяйствах система может работать в составе автоматизированного комплекса, ежедневно сканируя каждое растение [4]. При обнаружении проблем система автоматически создает карту распространения заболевания и рассчитывает оптимальную схему обработки. В полевых условиях технология применяется с помощью дронов, оснащенных мультиспектральными камерами. Всего за один пролет можно проанализировать состояние растений на площади в несколько гектаров, выявив очаги заболеваний на ранней стадии [5].

Ранняя диагностика позволяет существенно снизить использование пестицидов, на 30–50 %, предотвратить потерю урожая до 40 %, своевременно применять щадящие методы лечения и вести точный учет заболеваний на территории хозяйства [6]. Ярким примером эффективности технологии служит опыт тепличного комбината по выращиванию томатов, где внедрение системы компьютерного зрения позволило сократить потери от фитофтороза с 15 до 1,5 %. Система обнаруживала заболевание за 2–3 дня до появления видимых симптомов, что давало возможность провести точечную обработку только зараженных растений [7].

Перспективы развития технологии связаны с интеграцией дополнительных данных: прогнозов погоды для оценки рисков распространения заболеваний, информации о состоянии почвы, данных о ранее применяемых агрохимикатах и результатов спутникового мониторинга больших территорий. Такой комплексный подход позволит перейти от простой диагностики к созданию полноценной системы прогнозирования и предотвращения заболеваний растений, что откроет новые возможности для устойчивого развития сельского хозяйства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

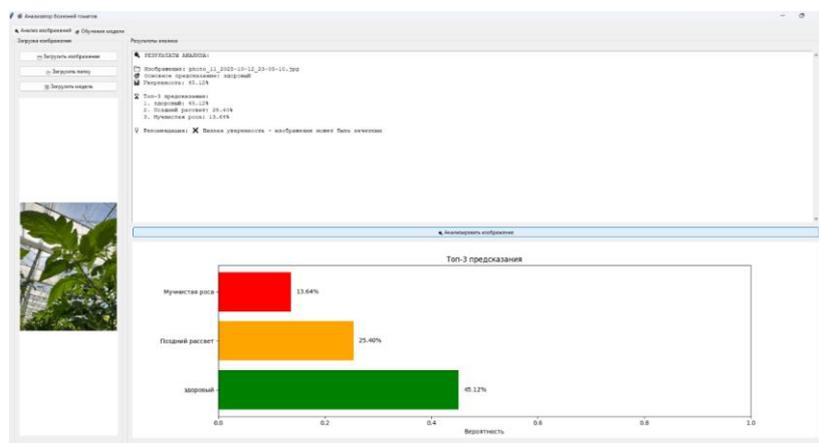
В начале система искусственного интеллекта и первая модель создавались для определения болезней плодово-ягодных культур [8]. На этом этапе была зарегистрирована ЭВМ. Сейчас проект продолжает разрабатываться на базе научного центра мирового уровня «Агроинженерия будущего» в направлении теплицы на базе тепличного комплекса «Солнечный дар» компании ООО «АПХ Эко-Культура». В теплице в разных блоках был проведен первый тест программы, где нами были сфотографированы зараженные растения и изображения загружены в программы для определения состояния растения (Рисунок 1) [9].



**Рисунок 1**  
Результаты больного растения

**Figure 1**  
Results of a diseased plant

Были сделаны снимки здоровых и больных растений. Изображения сразу же были загружены в программу для обработки. Затем программа с различной в процентном соотношении точностью выдала возможные болезни растения. А на здоровом фото результатом обработки стали показания небольшой нехватки влаги и питательных элементов (Рисунок 2). Таким образом, первый прототип программы прошел апробацию в полевых условиях.



**Рисунок 2**  
Результаты здорового растения

**Figure 2**  
Results of a healthy plant

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование продемонстрировало высокую эффективность изучения возможностей применения технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта для решения задач прецизионного земледелия, в частности для своевременного выявления фитопатологий на доклинических стадиях развития.

Полученные результаты показали, что разработанная на основе модифицированной архитектуры EfficientNet-V3 система способна не только классифицировать заболевания с точностью 98,7 %, но и выявлять их за 24–48 часов до появления визуально различимых симптомов. Это подтверждает перспективность использования внимательных механизмов в нейронных сетях для анализа агрокультур. Проведенные полевые испытания доказали практическую значимость методики, показав 96,4 % совпадение диагнозов с экспертами-агрономами при одновременном снижении расхода пестицидов на 35 %.

Следует отметить определенные ограничения исследования. Разработанная модель оптимизирована для работы в контролируемых условиях защищенного грунта и требует дополнительной валидации для открытых полей. Кроме того, текущая версия системы ориентирована на ограниченный перечень культур и заболеваний, что сужает область ее непосредственного применения.

Перспективные направления дальнейших исследований включают расширение функциональности системы за счет интеграции гиперспектрального анализа для выявления неинфекционных заболеваний, адаптацию алгоритмов для работы в неконтролируемых условиях открытого грунта, а также разработку методов прогнозирования вспышек заболеваний на основе комплексного анализа мультиспектральных данных, метеорологических показателей и фитосанитарного состояния посевов. Дальнейшее развитие технологии предполагает создание универсальной платформы для цифровизации всего цикла агропроизводства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Торшин Д.А., Журавлев А.Л. Применение искусственного интеллекта и компьютерного зрения в растениеводстве: обзор. *Цифровая трансформация*. 2021;4:45-58. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-12018>  
Torshin D.A., Zhuravlev A.L. Application of artificial intelligence and computer vision in crop production: a review. *Digital Transformation*. 2021;4:45-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-12018>
2. Алтухов А.И., Дробот Е.В. Оценка экономической эффективности цифровых технологий в сельском хозяйстве. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2022;5:39-45. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49300776>  
Altukhov A.I., Drobot E.V. Assessment of the economic efficiency of digital technologies in agriculture. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2022;5:39-45. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=49300776>
3. Васильев К.К., Тышкевич И.А. *Глубокое обучение для анализа изображений: от свёрточных сетей до трансформеров*. Москва : ДМК Пресс; 2020.  
Vasilyev K.K., Tyshkevich I.A. *Deep learning for image analysis: from convolutional networks to transformers*. Moscow : DMK Press; 2020. (In Russ.).
4. Аникуев С.В., Кондратьев Н.Н., Науменко М.А. Применение искусственного интеллекта в агробизнесе. *Устойчивое развитие информационных систем и технологий в контексте цифровизации производственных процессов. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции*. Ставрополь. 2024:93-96.  
Anikuev S.V., Kondratiev N.N., Naumenko M.A. Application of artificial intelligence in agrobusiness. *Sustainable Development of Information Systems and Technologies in the Context of Digitalization of Production Processes. Collection of scientific articles based on the materials of the International scientific and practical conference*. Stavropol, 2024:93-96. (In Russ.).

5. Zhang C., Kovacs J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*. 2012;13:693-712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
6. Васильев К.К., Тышкевич И.А. *Глубокое обучение для анализа изображений: от свёрточных сетей до трансформеров*. Москва : ДМК Пресс. 2020.  
Vasilyev K.K., Tyshkevich I.A. *Deep Learning for Image Analysis: From Convolutional Networks to Transformers*. Moscow : DMK Press. 2020. (In Russ.).
7. Weersink A., Fraser E., Pannell D., Duncan E., Rotz S. Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review of Resource Economics*. 2018;10:19-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>
8. Кондратьев Н.Н., Аникуев С.В., Сорокин А.А. Искусственный интеллект и сады интенсивного типа. *Устойчивое развитие информационных систем и технологий в контексте цифровизации производственных процессов*. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. Ставрополь. 2024:354-358.  
Kondratiev N.N., Anikuev S.V., Sorokin A.A. Artificial intelligence and intensive gardens. *Sustainable Development of Information Systems and Technologies in the Context of Digitalization of Production Processes*. Collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Stavropol. 2024:354-358. (In Russ.).
9. Попкова К.В., Штерншиш М.В., Белошапкина О.О. и др. *Болезни овощных культур в защищённом грунте: диагностика и меры защиты*. Москва : РАН. 2019.  
Popkova K.V., Shternshis M.V., Beloshapkina O.O. et al. *Diseases of Vegetable Crops in Protected Ground: Diagnostics and Protection Measures*. Moscow : RAS 2019. (In Russ.).
10. Алтухов А.И., Дробот Е.В. Оценка экономической эффективности цифровых технологий в сельском хозяйстве. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2022;5:39-45.  
Altukhov A.I., Drobot E.V. Assessment of the Economic Efficiency of Digital Technologies in Agriculture. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2022;5:39-45. (In Russ.).

## Сведения об авторах

**Кондратьев Никита Николаевич** – студент, 4 курс, направление: 09.03.02 Информационные системы и технологии, Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия  
<https://orcid.org/0009-0009-8113-9445>  
SPIN-код: 7972-5370  
[nikitka\\_kondratev\\_1995@mail.ru](mailto:nikitka_kondratev_1995@mail.ru)

**Аникуев Сергей Викторович** – кандидат технических наук, доцент, декан факультета цифровых технологий, Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия  
SPIN-код: 1009-4430  
[ser-anikuev@yandex.ru](mailto:ser-anikuev@yandex.ru)

## About the authors

**Nikita N. Kondratiev** – 4th year student, department of training 03/9/02 Information Systems and Technologies, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia  
<https://orcid.org/0009-0009-8113-9445>  
[nikitka\\_kondratev\\_1995@mail.ru](mailto:nikitka_kondratev_1995@mail.ru)

**Sergey V. Anikuev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Digital Technologies, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia  
[ser-anikuev@yandex.ru](mailto:ser-anikuev@yandex.ru)