

ПЕРВАЯ НАУЧНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЕЖНОГО НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА ДГТУ «ИНТЕГРАЦИЯ: ГОСУДАРСТВО. НАУКА. БИЗНЕС»



УДК 632.08

Мониторинг посевных площадей на основе автоматизированной картографической системы

М.А. Янгулов, Е.А. Чайка, М.М. Жданова

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрено современное состояние агропромышленного комплекса, где для борьбы с сорной растительностью традиционно применяют равномерное внесение гербицидов, повышающее затраты и экологическую нагрузку. Поставлен вопрос разработки экономически эффективной автоматизированной системы мониторинга сорности на основе мультиспектральной съемки с БПЛА и нейросетевых алгоритмов. Предложен программно-аппаратный комплекс WeedMap с многоуровневой архитектурой, использующий микроконтроллеры ESP-32 CAM и нейросеть YOLOv8 для детекции сорняков и построения тепловых карт полей. Показана высокая экономическая эффективность и практическая значимость решения для точного земледелия и оптимизации применения средств защиты растений.

Ключевые слова: точное земледелие, мониторинг сорности, БПЛА, нейросетевые алгоритмы, дифференцированное внесение гербицидов, экономическая эффективность

Для цитирования. Янгулов М.А., Чайка Е.А., Жданова М.М. Мониторинг посевных площадей на основе автоматизированной картографической системы. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(6):146–151.

Финансирование. Работа проведена в рамках выполнения проекта «Математическое моделирование и алгоритмы моделирования роста растений на основе автоматизированной картографической системы» (FZNE2024-0006).

Monitoring the Cultivated Lands Using an Automated Mapping System

Maksim A. Yangulov, Evgeny A. Chaika, Marina M. Zhdanova

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The paper studies the state-of-the-art of the agro-industrial complex, where uniform herbicide application is traditionally used for weed control, which leads to the increase of environmental burden and costs. The paper raises the problem of developing a cost-efficient automated weed monitoring system based on multispectral UAV imaging and neural network algorithms application. For weed detection and heat mapping of the fields, a hardware and software system WeedMap with multi-tier architecture, which uses ESP-32 CAM microcontrollers and YOLOv8 neural network, was proposed. The high cost-efficiency and practical significance of this solution for precision agriculture and for optimization of crop protection product application were revealed.

Keywords: precision agriculture, weed monitoring, UAVs, neural network algorithms, differentiated herbicide application, economic efficiency

For Citation. Yangulov MA, Chaika EA, Zhdanova MM. Monitoring the Cultivated Lands Using an Automated Mapping System. *Young Researcher of Don*. 2025;10(6):146–151.

Введение. Современный агропромышленный комплекс сталкивается с необходимостью одновременного повышения эффективности производства, снижения экологической нагрузки и обеспечения устойчивого природо-пользования посевных площадей. Одним из ключевых аспектов этой задачи является борьба с сорной растительностью, которая традиционно осуществляется путем равномерного внесения гербицидов по всей площади поля. Такой подход не только увеличивает производственные затраты, но и наносит значительный ущерб окружающей

среде [1]. В этой связи все более актуальными становятся технологии точного земледелия, позволяющие дифференцированно применять средства защиты растений на основе данных мониторинга состояния посевов.

Значительный потенциал в области оперативного и детального картографирования засоренности демонстрируют беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные мультиспектральными камерами [2, 3]. Современные исследования подтверждают, что интеграция данных аэрофотосъемки с алгоритмами глубокого обучения обеспечивает высокую точность выделения участков с сорной растительностью [4]. В настоящее время доминирующее положение в этой области занимают сверточные нейронные сети (CNN), однако все более перспективными становятся архитектуры Vision Transformers, обеспечивающие более полноценный учет глобального контекста изображения при сохранении вычислительной эффективности [2]. Для задач, требующих минимальной задержки обработки, дополнительно исследуются альтернативные подходы, основанные, в частности, на алгоритмах оптимизации [3].

Несмотря на значительное количество технологических решений, их коммерциализация и широкое внедрение сопровождаются рядом барьеров, выявленных при анализе экосистемы внедрения, таких как [5]. К ним относятся высокая стоимость оборудования, недостаточная адаптация технологий к реальным полевым условиям, а также настороженность фермеров в отношении устойчивости и долговечности компаний-разработчиков. Это подчеркивает необходимость создания не только отдельных алгоритмических модулей, но и комплексных систем, учитывающих экономические, эксплуатационные и организационные требования агробизнеса.

В условиях российского АПК разработка отечественных автоматизированных систем, интегрирующих лучшие мировые практики и адаптированных к местной специфике, приобретает особую значимость. Целью данной работы является разработка оптимизированной методики интеграции технологий мультиспектральной съемки с БПЛА и нейросетевых алгоритмов для создания автоматизированной картографической системы мониторинга засоренности посевов. На основе комплексного анализа современных методов [2–4] и оценки их экономической эффективности с учетом выявленных рыночных барьеров предлагается решение, ориентированное на повышение точности и оперативности принятия управленческих решений в растениеводстве [5]. Разработка интеллектуальной системы мониторинга, основанной на современных алгоритмах машинного обучения и анализа данных, позволит автоматизировать процесс сбора и обработки информации. Это обеспечит более оперативное и обоснованное принятие решений, что критически важно для успешного ведения сельскохозяйственного производства.

В качестве входных данных для анализа используется информация о состоянии полей, поступающая из различных источников, включая дронов, робототехнические комплексы технического зрения и результаты почвенных анализов. Гетерогенный характер поступающих сведений обуславливает необходимость разработки алгоритмов, способных обрабатывать и интегрировать разнородные массивы данных. Это включает работу как с числовыми и текстовыми данными, так и с изображениями, что требует применения методов обработки изображений и анализа больших данных. Данные, полученные в процессе мониторинга, могут содержать шумы и утраты фрагментов, что подтверждает необходимость создания устойчивых алгоритмов, способных эффективно функционировать в условиях неполных и неточных исходных данных.

Основная часть. Процесс мониторинга посевных площадей на основе автоматизированной картографической системы включает три функциональных уровня, которые одновременно соответствуют и физической реализации программно-аппаратного комплекса (ПАК) (рис. 1).

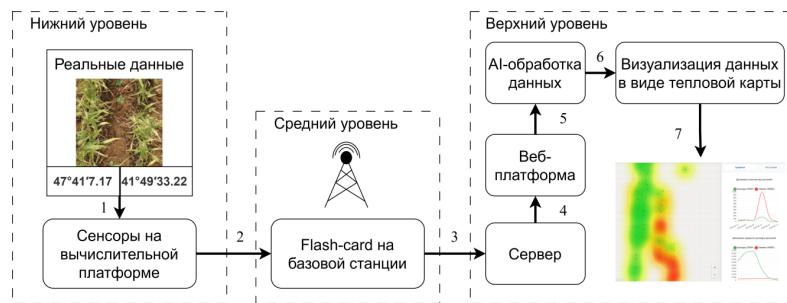


Рис. 1. Структурная схема мониторинга посевных площадей

Нижний уровень представляет собой аппаратную подсистему для сбора визуальных данных о состоянии посевных площадей с использованием фото- или видеофиксации с привязкой к географическим координатам местоположения от GNSS-приёмников в формате NMEA 0183. В качестве вычислительной платформы нижнего уровня может использоваться как микроконтроллер, так и более мощное устройство общего назначения [6]. Для сбора данных с нижнего уровня применяется система на базе одноплатного компьютера с операционной системой Linux, интегрированная в базовую станцию. Пакетная передача данных осуществляется по стеку протоколов TCP/IP по Wi-Fi (рис. 1, связь «2») в архитектуре клиент-сервер, где клиентом является устройство нижнего уровня, а сервером — базовая станция. Средний уровень реализации ПАК выполняет вспомогательную функцию расширения зоны сетевого покрытия и масштабирования сбора информации, однако в частных случаях может

быть опущен. Накопленные в базовой станции данные при наличии связи передаются на удаленный сервер (рис. 1, связь «3») верхнего уровня ПАК.

Верхний уровень характеризуется исключительно программной реализацией ПАК. Основным интерфейсом обработки и анализа данных, поступающих с сельскохозяйственных полей, является веб-сервис WeedMap (рис. 1, связь «4»). Платформа обеспечивает анализ изображений участков полей с географической привязкой на основе алгоритмов нейронной сети (рис. 1, связь «5»). Нейросеть YOLO автоматически распознает сорняки, культурные растения и зоны сниженного объема зеленой массы поля (рис. 1, связь «6»), после чего визуализирует статистические показатели в виде тепловой карты, которая фактически характеризует состояние сельскохозяйственного участка (рис. 1, связь «7»).

Система обеспечивает гибкое картографическое отображение состояния поля с детализацией до 5 м². Пользователь может выбирать режимы визуализации, например, отображение только зон сорной растительности или только культурной, а также совместной отображение данных для получения более подробной картины. Интенсивность окрашивания для обоих типов зон на карте поля H рассчитывается по единой формуле⁸

$$H = \frac{N - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где N — количество сорняков на анализируемом изображении, $N \in (0;1]$, а N_{\min} —минимальное количество сорняков в выборке, N_{\max} — максимальное количество сорняков в выборке. Кроме этого, в алгоритмах учтены условия отсутствия цветового маркирования. Например, при $H = 0$, то есть при отсутствии классификации объектов на изображении по двум типам (сорняк / культура). На основе дискретных точечных данных формируется непрерывная карта поля с использованием метода пространственной интерполяции Кригинга, который обеспечивает оптимальную оценку значений в областях, не фиксируемых по различным причинам (рис. 2).

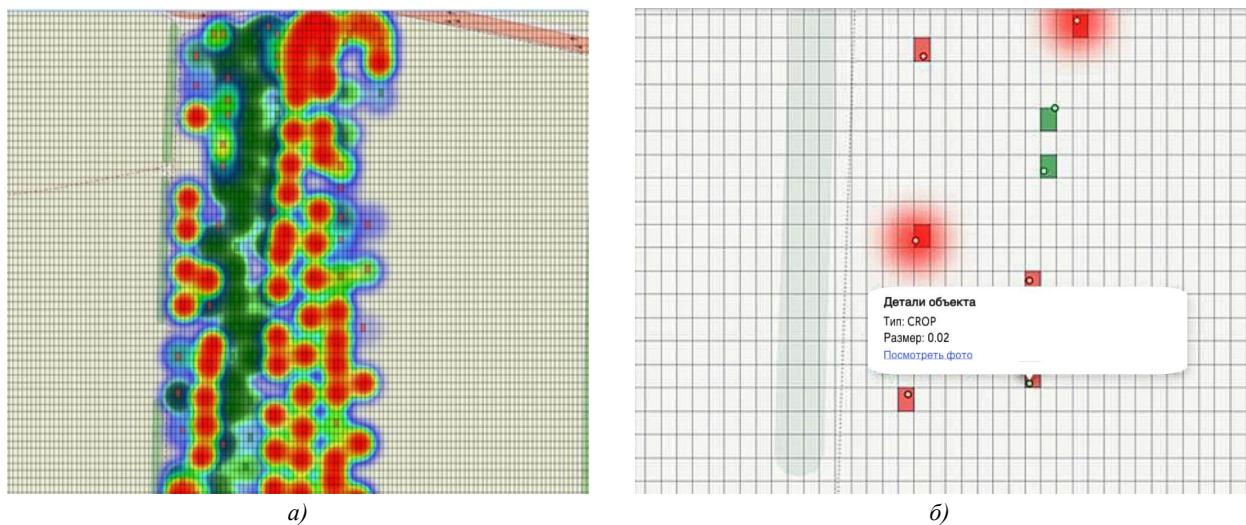


Рис. 2. Визуализация данных мониторинга посевной площади на карте:
а — общий вид в системе картографирования, б — детализация для малых участков

Для каждого малого участка поля пользователь может просмотреть подробную информацию о сорности и урожайности посева. В картографической системе отображается информация о количестве обнаруженных объектов каждого типа на элементарном участке, а также есть возможность просмотреть реальные фото культур и сорняков в отмеченной зоне за указанный период (рис. 2 б). Это позволяет автоматизировано провести подробный анализ поля и выстроить стратегию внесения удобрений и гербицидов. Кроме этого, пользователю также доступна историческая статистика динамики роста сорняков и культурных растений во времени с помощью настраиваемых по периоду диаграмм. Таким образом, разработанное программное обеспечение для мониторинга посевных площадей «WeedMap» включает многоуровневую архитектуру бизнес-логики, в которую входят:

- клиентская часть – веб-браузер пользователя, где отображается весь интерфейс ПО;
- компонент для отображения интерактивной тепловой карты с маркерами фото;
- интерфейс для просмотра истории загрузок, календаря и статистических графиков;
- страница профиля пользователя с настройками аккаунта и управления полями;
- компонент для загрузки фотографий и ТХТ файлов с геоданными;
- сервис управления полями (создание, редактирование, удаление);
- сервис обработки загруженных файлов, валидации и сохранения метаданных;
- сервис нейронной сети YOLOv8 для детекции сорняков, культурных растений и т.д.;

– сервис для расчета статистических метрик и динамики изменений во времени.

В аппаратной части созданного ПАК, в отличие от известных систем технического зрения для сбора информации о состоянии полей, лежит микроконтроллер ESP-32 CAM [7, 8]. Стоимость такого решения на порядок ниже вычислительных устройств, основанных, например, на Nvidia Jetson и Raspberry Pi. Они обладают более высокой производительностью и обеспечивают высокую скорость обработки кадров при мониторинге полей, однако с экономической точки зрения являются менее эффективными (Таблица 1). Однако стоимость аппаратной части на основе микроконтроллеров не превышает 10 долларов, против более 150 долларов, затраченных на Nvidia Jetson.

Для каждого малого участка поля пользователь может просмотреть подробную информацию о сорности и урожайности посевов. В картографической системе отображается количество обнаруженных объектов каждого типа на элементарном участке, а также предоставляется возможность просмотреть реальные фотоматериалы культур и сорняков в отмеченной зоне за указанный период (рис. 2 б). Это обеспечивает автоматизированное проведение детального анализа состояния поля и позволяет выстроить оптимальную стратегию внесения удобрений и гербицидов. Кроме того, пользователю доступна историческая статистика динамики развития сорной и культурной растительности во времени с помощью настраиваемых по периоду диаграмм.

Таким образом, разработанное программное обеспечение для мониторинга посевных площадей «WeedMap» реализует многоуровневую архитектуру бизнес-логики, в состав которой входят:

- клиентская часть — веб-браузер пользователя, где отображается весь интерфейс программного обеспечения;
- компонент для отображения интерактивной тепловой карты с маркерами фотоматериалов;
- интерфейс для просмотра истории загрузок, календаря и статистических графиков;
- страница профиля пользователя с настройками аккаунта и управления полями;
- компонент для загрузки фотографий и TXT-файлов с геоданными;
- сервис управления полями (создание, редактирование, удаление);
- сервис обработки загруженных файлов, валидации и сохранения метаданных;
- сервис нейронной сети YOLOv8 для детекции сорняков, культурных растений и т.д.;
- сервис для расчета статистических метрик и анализа динамики изменений во времени.

В аппаратной части разработанного программно-аппаратного комплекса, в отличие от известных систем технического зрения для сбора информации о состоянии посевов, используется микроконтроллер ESP-32 CAM [7, 8]. Стоимость такого решения на порядок ниже вычислительных устройств, основанных, например, на Nvidia Jetson и Raspberry Pi. Последние обладают более высокой производительностью и обеспечивают большую скорость обработки кадров при мониторинге полей, однако с экономической точки зрения являются менее эффективными (таблица 1). При этом стоимость аппаратной части на основе микроконтроллера, как правило, не превышает 10 долларов, тогда как затраты на вычислительный модуль Nvidia Jetson составляют более 150 долларов.

Таблица 1
Экономический эффект от внедрения систем картографии для точного земледелия

Вычислительный модуль	На основе ESP-32 CAM	На основе Jetson Xavier NX
Капитальные затраты на сборку 10 модулей, руб	57 650	1 275 000
Энергопотребление, Вт/сутки	50–100	500–1000
Окупаемость для посевной площади в 1000 га при условии, что на средства защиты растений тратится 836,4 руб/га [9]	Менее одного сезона	Более 30 сезонов

Расчет окупаемости решения выполнен исходя из того, что за счет сокращения перекрытий доз внесения средств защиты растений (СЗР) затраты на сезон уменьшаются примерно на 5 % [10]. Следует подчеркнуть, что данный расчет имеет ориентировочный характер и проведен без учета амортизационных отчислений, расходов на сервисное обслуживание каждого решения, а также без детального анализа структуры затрат на СЗР для каждого гектара посевной площади. Тем не менее качественная оценка экономической эффективности решений на основе микроконтроллеров приведена корректно и демонстрирует их целесообразность.

Заключение. Исследовательские и научно-технические работы в области цифровизации сельского хозяйства существенно трансформируют существующие подходы и методики агрономической практики. В представленной работе в рамках прикладного исследования показано, как внедрение методики мониторинга полей с применением БПЛА и обработкой полученных данных на основе нейросетевых алгоритмов способствует созданию цифровых

решений для дифференцированного внесения удобрений на базе картографического отображения участков сорности и всхожести. Также предложено автоматизировать контроль агротехнических мероприятий и оценку их результатов на основе качественных и количественных показателей состояния посевной площади.

Подобные программно-аппаратные комплексы не являются принципиально инновационными с точки зрения архитектуры и применяемых технологий, однако отсутствие их широкого распространения в значительной степени обусловлено высокой стоимостью аппаратных решений, а также дефицитом масштабных и репрезентативных наборов данных, необходимых для качественного анализа состояния посевов. В работе продемонстрирован подход к решению первой проблемы — использование энергоэффективных и экономичных устройств в качестве вычислительных платформ на основе микроконтроллера. Вторая задача, связанная с формированием и расширением наборов данных, будет предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Castellano G, De Marinis P, Vessio G. Weed Mapping in Multispectral Drone Imagery Using Lightweight Vision Transformers. *Neurocomputing*. 2023;562:126914. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126914>
2. Joy J, Kelvin B, Howatt K, Aderholdt W, Khan M, Peters T, et al. Edge-deployable Segmentation and Prescription Mapping of Post-emergence Weeds in Sugar Beet Crops for UAV-based Precision Spraying. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025;24:102422. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102422>
3. Wong C, Moghimi A. Stakeholder Mapping of Precision Weeding Commercialization Ecosystem in California. *Agricultural Systems*. 2025;222:104152. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104152>
4. Chen C, Wang S, Wang X, Yu H, Dong R. Improved Fluid Search Optimization-based Real-time Weed Mapping. *Information Processing in Agriculture*. 2020;7(3):403-417. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.10.002>
5. Sandoval-Pillajo L, García-Santillán I, Pusda-Chulde M, Giret A. Weed Detection Based on Deep Learning from UAV Imagery: A Review. *Smart Agricultural Technology*. 2025;12:101147. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101147>
6. Donskoy D, Gvindjiliya V, Ivliev E. TinyML Classification for Agriculture Objects with ESP32. *Digital*. 2025;5(4):48. <https://doi.org/10.3390/digital5040048>
7. Brunell D, Albanese A, d'Acunto D, Nardello M. Energy Neutral Machine Learning Based IoT Device for Pest Detection in Precision Agriculture. *IEEE Internet of Things Magazine*. 2019;2(4):10–13. <https://doi.org/10.1109/IOTM.0001.1900037>
8. Ivliev E, Demchenko V, Obukhov P. Automatic Monitoring of Smart Greenhouse Parameters and Detection of Plant Diseases by Neural Networks. In: *Proceedings of the Conference “Robotics. Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture”*. Vol.247. October 5, 2021. Shamtsyan M, Pasetti M, Beskopylny A. (Eds). Singapore: Springer. 2022. P.29-36. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3844-2_4
9. Доклад первого заместителя Главы администрации Мензелинского района по экономике и содействию предпринимательства. Мензелинский край. URL: <https://menzelinsk.ru/doc.php?id=1&ch=2> (дата обращения: 09.11.2025). *Report of the First Deputy Head of the Menzelinsky District Administration on Economics and Entrepreneurship Promotion. Menzelinsky Region.* (In Russ.). URL: <https://menzelinsk.ru/doc.php?id=1&ch=2> (accessed: 09.11.2025).
10. Как технологии точного земледелия помогают находить скрытые резервы. Блог для агронома. URL: <https://agroselena.ru/blog/kak-tehnologii-tochnogo-zemledeliya-pomogayut-nakhodit-skrytye-rezervy/> (дата обращения: 09.11.2025). *How Precision Agriculture Technologies Help to Find Hidden Reserves. An Agronomist's Blog.* (In Russ.). URL: <https://agroselena.ru/blog/kak-tehnologii-tochnogo-zemledeliya-pomogayut-nakhodit-skrytye-rezervy/> (accessed: 09.11.2025).

Об авторах:

Максим Александрович Янгулов, студент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), f4gbure@yandex.ru

Евгений Анатольевич Чайка, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Моделирование и разработка интеллектуальных технических систем АПК» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), echaika@donstu.ru

Марина Михайловна Жданова, старший преподаватель кафедры «Кибербезопасность информационных систем» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), mpismenskova@donstu.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Maksim A. Yangulov, Student of the Computer Engineering and Automated Systems Software Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), f4gbure@yandex.ru

Evgeny A. Chaika, Cand.Sci. (Engineering), Head of the Research Laboratory “Modeling and Development of Intelligent Technical Systems of the Agroindustrial Complex”, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), echaika@donstu.ru

Marina M. Zhdanova, Senior Lecturer of the Cybersecurity of Information Systems Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), mpismenskova@donstu.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no onflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.