

Научная статья
УДК 005.7
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-41-51

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Валерий Владимирович Трофимов^{1✉}, Артем Данилович Иус²

^{1,2}Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

¹tw@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-3518-8192>

²iustema74@gmail.com

Язык статьи – русский

Аннотация: Целью данной работы является разработка и опытная реализация концепции информационной системы (ИС) для точного земледелия, обеспечивающей сбор, обработку, анализ и визуализацию данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды. Такая ИС способствует принятию обоснованных решений по управлению посевами, оптимизации использования ресурсов и созданию основы для интеграции с системами управления предприятием (ERP), что в итоге приводит к повышению эффективности и устойчивости сельскохозяйственного производства. Информационно-аналитическая основа представленного исследования охватывает совокупность международных стандартов, регламентирующих процессы разработки и реализации проектов в сфере ИКТ, специализированные публикации и монографии, посвященные вопросам проектирования управленческих ИС и ведения точного земледелия, а также эмпирический материал, полученный на основании практического опыта организаций.

Методологические подходы включают содержательный анализ литературных источников, проведение сопоставительного анализа известных методик формирования ИС, исследование внутренней структуры технологических процессов и инструментариев сельскохозяйственных предприятий, а также современные статистические методы.

Результатом стало создание концепции ИС, предназначенной для сельскохозяйственных предприятий с акцентом на точное земледелие. Данная система предназначена для комплексной обработки, детального изучения и графического представления сведений относительно состояния почвенного покрова, роста сельскохозяйственных культур и факторов внешней среды.

Апробация пилотного варианта ИС на сельскохозяйственном предприятии показала, что ее применение способствует повышению урожайности и снижению затрат на удобрения. Такая ИС может быть положена в основу создания цифрового сельскохозяйственного предприятия, а результаты исследования могут быть использованы для разработки нормативно-справочной документации по внедрению цифровых технологий для точного земледелия.

Ключевые слова: ГИС, информационная система, машинное обучение, оптимизация затрат, точное земледелие, урожайность, цифровая трансформация, цифровое сельское хозяйство

Ссылка для цитирования: Трофимов В. В., Иус А. Д. Повышение эффективности хозяйственной деятельности предприятий точного земледелия на основе использования цифровых технологий // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 41–51. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-41-51>.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ECONOMIC ACTIVITIES OF PRECISION FARMING ENTERPRISES THROUGH THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES

Valeriy V. Trofimov^{1✉}, Artem D. Ius²

^{1,2}Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

¹tw@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-3518-8192>

²iustema74@gmail.com

Article in Russian

Abstract: The objective of this work is to develop and experimentally implement the concept of an information system (IS) for precision farming, providing for the collection, processing, analysis and visualization of data on the state of the soil, plants and the environment. Such an IS facilitates informed decision-making on crop management, optimization of resource use and creation of a basis for integration with enterprise resource planning (ERP) systems, which ultimately leads to increased efficiency and sustainability of agricultural production. The information and analytical basis of the presented study covers a set of international standards regulating the processes of development and implementation of ICT projects, specialized publications and monographs devoted to the design of management IS and precision farming, as well as empirical material obtained on the basis of the practical experience of organizations.

Methodological approaches include a substantive analysis of literary sources, a comparative analysis of known IS formation methods, a study of the internal structure of technological processes and tools of agricultural enterprises, as well as modern statistical methods.

The result was the creation of an IS concept designed for agricultural enterprises with an emphasis on precision farming. This system is designed for complex processing, detailed study and graphic presentation of information on the state of the soil cover, growth of agricultural crops and environmental factors.

Testing of the pilot version of the IS at an agricultural enterprise showed that its use helps to increase crop yields and reduce fertilizer costs. Such an IS can be used as a basis for creating a digital agricultural enterprise, and the research results can be used to develop regulatory and reference documentation for the implementation of digital technologies for precision farming.

Keywords: cost optimization, crop yield, digital agriculture, digital transformation, GIS, information system, machine learning, precision farming, sensors

For citation: Trofimov V. V., Ius A. D. Improving the Efficiency of Economic Activities of Precision Farming Enterprises Through the Use of Digital Technologies. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 41–51. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-41-51>.

Введение. В современном аграрном секторе наблюдается устойчивая тенденция к интенсификации производства, обусловленная необходимостью обеспечения продовольствием растущего населения планеты, и повышению эффективности использования ограниченных природных ресурсов. Традиционные методы земледелия, характеризующиеся усредненным подходом к управлению посевами и ресурсами, демонстрируют существенные ограничения в достижении этих целей. Неравномерность урожайности, неоптимальное использование удобрений и средств защиты растений, а также зависимость от климатических факторов приводят к снижению рентабельности и увеличению экологической нагрузки на агроэкосистемы [1].

Альтернативой традиционным технологиям становится концепция точного земледелия (ТЗ), основанная на применении информационных технологий, дистанционном мониторинге полей, картографировании пространственных данных посредством ГИС-технологий и автоматизированных инструментов контроля. Суть концепции ТЗ состоит в учете внутриполевых вариаций агроклиматических показателей и адаптации мероприятий по уходу за растениями к индивидуальным характеристикам отдельных участков, что обеспечивает рациональное

распределение ресурсов, рост урожайности и минимизирует негативное воздействие на природу.

Цель настоящего исследования заключается в создании научно-обоснованной концепции информационной системы (ИС), ориентированной на потребности точного земледелия, способствующей эффективному накоплению, анализу и наглядному отображению данных о почве, культурах растений и внешних условиях окружающей среды. Такая информационная система призвана стать инструментом для оперативного принятия управленческих решений и эффективной интеграции с корпоративными системами управления предприятием (Enterprise Resource Planning, ERP). Ее реализация будет способствовать повышению производительности труда и эффективности сельскохозяйственной деятельности.

В рамках достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**.

1) Проведение критического обзора имеющихся подходов к проектированию информационных систем для нужд точного земледелия и выделение ключевых преимуществ и недостатков существующей практики.

2) Разработка концепции информационной системы, включающей модули сбора данных, географического анализа, моделиро-

вания и поддержки принятия управленческих решений.

3) Определение эффективных методов анализа данных, позволяющих давать более достоверные прогнозы урожайности.

4) Апробация функциональности системы и оценивание ее экономической целесообразности на конкретном примере фермерского хозяйства.

5) Формулирование предложений по внедрению и тиражированию.

Обзор литературы. Анализ научной литературы показал, что точное земледелие является предметом активных исследований в последние десятилетия. Многочисленные публикации посвящены разработке технологий и оборудования для сбора данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды, а также методам анализа этих данных для принятия обоснованных решений по управлению посевами.

Концепция и принципы точного земледелия подробно рассмотрены в работах Thiruvengadam [2] и Gebbers [3], где авторы подчеркивают важность учета изменчивости внутри каждого участка поля и адаптации агротехнических мероприятий к конкретным потребностям каждого участка поля.

В работах Stafford [4] и McBratney [5] предложены методы картирования полей и определения зон с различным уровнем урожайности на основе данных дистанционного зондирования и наземных измерений.

Технологии и оборудование для точного земледелия включают широкий спектр датчиков и сенсоров, ГИС, дроны и автоматизированную технику. Так, Adamchuk [6] и Viscarra Rossel [7] предлагают классификацию приборов, предназначенных для измерения влажности грунта, температуры, кислотности и содержания основных макроэлементов.

Роль беспилотных авиационных аппаратов в дистанционной диагностике текущего состояния посевов исследуется в материалах Hunt [8] и Berni [9]. Автоматизированные агрегаты, способные регулировать нормы внесения минеральных удобрений и инсектицидов, проанализированы в публикациях Auernhammer [10] и Lark [11].

Комплексные системы информационного сопровождения точных аграрных практик

предполагают наличие интеграционного слоя, связующего программные приложения и технические устройства для осуществления процедур сбора, предварительной обработки, углубленного анализа и представления собранных данных о почве, культурах и экологии региона. Примеры архитектурных схем подобных систем приводятся в работах Pierce [12] и Robert [13], где подчеркивается ключевое значение модулей геопространственного анализа, цифрового моделирования и поддержки квалифицированных решений. Bongiovanni [14] и Walter [15] раскрывают тему сопряжения информационных систем с внешними хранилищами данных различного происхождения, такими как базы данных космических снимков, погодные сводки и экономические индикаторы рынка.

Облачные технологии и аналитика больших данных играют важную роль в современных ИС для точного земледелия. В работах Eastwood [16] и Kamilaris [17] описаны преимущества использования облачных платформ для хранения и обработки больших объемов данных, поступающих с датчиков и других источников информации. В работах Liakos [18] и Veres [19] рассмотрены методы машинного обучения и искусственного интеллекта, используемые для анализа данных и прогнозирования урожайности.

Вопросы организационной совместимости между системой точного земледелия и крупными корпоративными платформами управления бизнесом приобретают особую остроту. Barnes [20] и Klopfenstein [21] предлагают схемы интеграции данных о процессах растениеводства с показателями расходов и рыночной конъюнктуры в единую корпоративную платформу ERP, открывая возможности эффективного администрирования производственной цепочки.

Оценивание экономической эффективности и экологической устойчивости точного земледелия является важным аспектом исследований в данной области. В работах Swinton [22] и Uri [23] представлены результаты исследований, показывающие, что применение технологий точного земледелия может привести к повышению урожайности, снижению затрат на удобрения и средства защиты растений, а также уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Несмотря на значительный прогресс в области точного земледелия, существует ряд нерешенных проблем и перспективных направлений исследований. К ним относятся: оценка экономической эффективности различных технологий и подходов точного земледелия в различных условиях; использование современных методов анализа данных, позволяющих выявлять сложные закономерности и прогнозировать урожайность с высокой точностью; разработка адаптивных систем поддержки принятия решений, учитывающих различные факторы и сценарии; интеграция ИС точного земледелия с другими информационными системами и базами данных.

Методы и алгоритмы анализа данных. В контексте информационной системы для точного земледелия анализ данных представляет собой критически важный этап, обеспечивающий преобразование первичной информации, полученной с датчиков, сенсоров и других источников, в ценные знания, необходимые для принятия обоснованных экономических и агрономических решений. Предлагаемая концепция ИС включает широкий спектр статистических методов, алгоритмов машинного обучения и методов пространственного анализа для решения различных задач, связанных с мониторингом состояния почвы и растений, прогнозированием урожайности и оптимизацией использования ресурсов. Можно выделить следующий базовый функционал ИС.

Описательная статистика позволяет получить первоначальное понимание общего характера данных, предоставляя статистику первого порядка, которая позволяет обнаружить экстремально высокие или низкие значения, характерные выбросы и особенности структуры выборки.

Корреляционный анализ выявляет силу и характер взаимосвязи между разными факторами, такими как качество почвы, микроклиматические условия и показатели здоровья растений.

Регрессионный анализ позволяет построить математическую модель, отражающую зависимость целевой переменной от одного или нескольких независимых факторов, такие модели используются, например, для прогнозирования урожайности, исходя из динамики

изменений физических параметров почвы и окружающих условий.

Дисперсионный анализ (ANOVA) используется для оценки различий средних значений в нескольких группах, позволяя проверить значимость отличий между средними величинами урожайности на разных полях или при использовании различных агротехнических приемов.

Кластерный анализ применяется для разделения всей территории поля на зоны, обладающие схожими характеристиками, что дает возможность индивидуально оценивать каждый участок.

Классификация необходима для категоризации объектов (растений, земель) по заранее определенным признакам. Например, с помощью алгоритмов SVM (Support Vector Machines) и Random Forest можно автоматически определять состояние растений (здоровы, поражены болезнями, испытывают недостаток питательных веществ).

Алгоритмы машинного обучения предлагают более продвинутые варианты регрессионного анализа, такие как полиномиальная регрессия и многослойные нейронные сети, применяемые для построения многофакторных прогнозов урожайности.

Нейронные сети способны решать широкий круг задач, включая предиктивное моделирование урожайности, диагностику состояний растений и разработку оптимальных планов по применению ресурсов.

Интерполяция способствует восстановлению отсутствующих значений параметров в промежуточных точках путем экстраполяции данных, зафиксированных в опорных пунктах. Применяются методы IDW (Inverse Distance Weighting) и Kriging для создания контурных карт распределения показателей почвы и урожайности.

Анализ близости оценивает различия между объектами и определяет степень влияния расположенных рядом объектов друг на друга. Подобный подход полезен для выяснения роли рельефа, типа почвы и других локальных факторов на продуктивность выращивания культур.

Пространственная автокорреляция помогает оценить степень совпадения значений одних и тех же признаков в близких объектах. Пространственная автокорреляция полезна,

например, для идентификации областей с повышенной или пониженной урожайностью.

Геостатистика специализируется на анализе пространственно распределенной информации. Сюда входят методы вариограммного анализа и Кригинга, применяемые для моделирования пространственной изменчивости почвенных характеристик и урожайности.

Выбор конкретного функционала зависит от поставленных задач, типов данных и требуемой точности результатов. Предлагаемая концепция ИС предоставляет гибкий инструментарий для выбора наиболее подходящих методов анализа данных и настройки их параметров для достижения оптимальных результатов.

Требования к информационной системе. Предлагаемая концепция информационной системы для точного земледелия представляет собой интегрированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, анализ и визуализацию данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды [24]. ИС предназначена для поддержки принятия обоснованных решений по управлению посевами, оптимизации использования ресурсов и созданию основы для построения цифрового сельскохозяйственного предприятия на базе интеграции с системами его управления (ERP). Общая схема ИС включает следующие основные компоненты, представленные на рисунке 1. Опишем их функционал.

1) Подсистема сбора данных (ПСД) обеспечивает сбор данных с различных источников, включая датчики почвы, метеостанции, дроны и ручные измерения, выполняет регистрацию исходной информации, необходимой для дальнейшего анализа и принятия решений. Она объединяет следующие элементы:

- датчики почвы, предназначенные для фиксации таких параметров, как влажность, температура, кислотность (рН), концентрация полезных микроэлементов и иных характеристик грунта, информация поступает на центральный сервер посредством беспроводных сетей передачи данных (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN);

- автоматические метеостанции, осуществляющие мониторинг атмосферных

условий, таких как температура воздуха, относительная влажность, интенсивность осадков, направление и сила ветра, эти данные также поступают на центральный узел системы удаленно;

- дроны используются для получения аэрофотоснимков полей и оценки состояния посевов [25], данные обрабатываются с использованием методов компьютерного зрения и машинного обучения для выявления проблемных участков и оценки урожайности;

- ручные измерения включают сбор образцов почвы и растений для лабораторного анализа, а также визуальный осмотр посевов для выявления болезней и вредителей, данные вводятся в систему вручную через мобильное приложение или веб-интерфейс.

2) Подсистема геопространственного анализа (ПГА) обеспечивает создание и ведение электронных карт полей, интеграцию данных с различных источников и анализ пространственных данных для выявления неоднородностей и закономерностей. Выполняет систематизацию полученной информации следующим образом:

- создание и ведение электронных карт полей с использованием данных GPS/ГЛОНАСС для точного определения границ полей и создания электронных карт с информацией о рельефе, почвах, урожайности и истории обработок;

- интеграция данных с различных источников, поступающих с датчиков почвы, метеостанций, дронов и ручных измерений, в единую базу данных;

- анализ пространственных данных с использованием методов интерполяции (IDW, Kriging) для создания карт распределения параметров почвы и урожайности. Проводится анализ близости параметров для определения влияния различных факторов на урожайность.

3) Подсистема моделирования (ПМ) обеспечивает разработку и использование математических моделей для прогнозирования урожайности, оптимизации использования ресурсов и оценки влияния различных факторов на рост и развитие растений. Реализует расчетные процедуры, необходимые для предсказательной и оптимизационной деятельности:

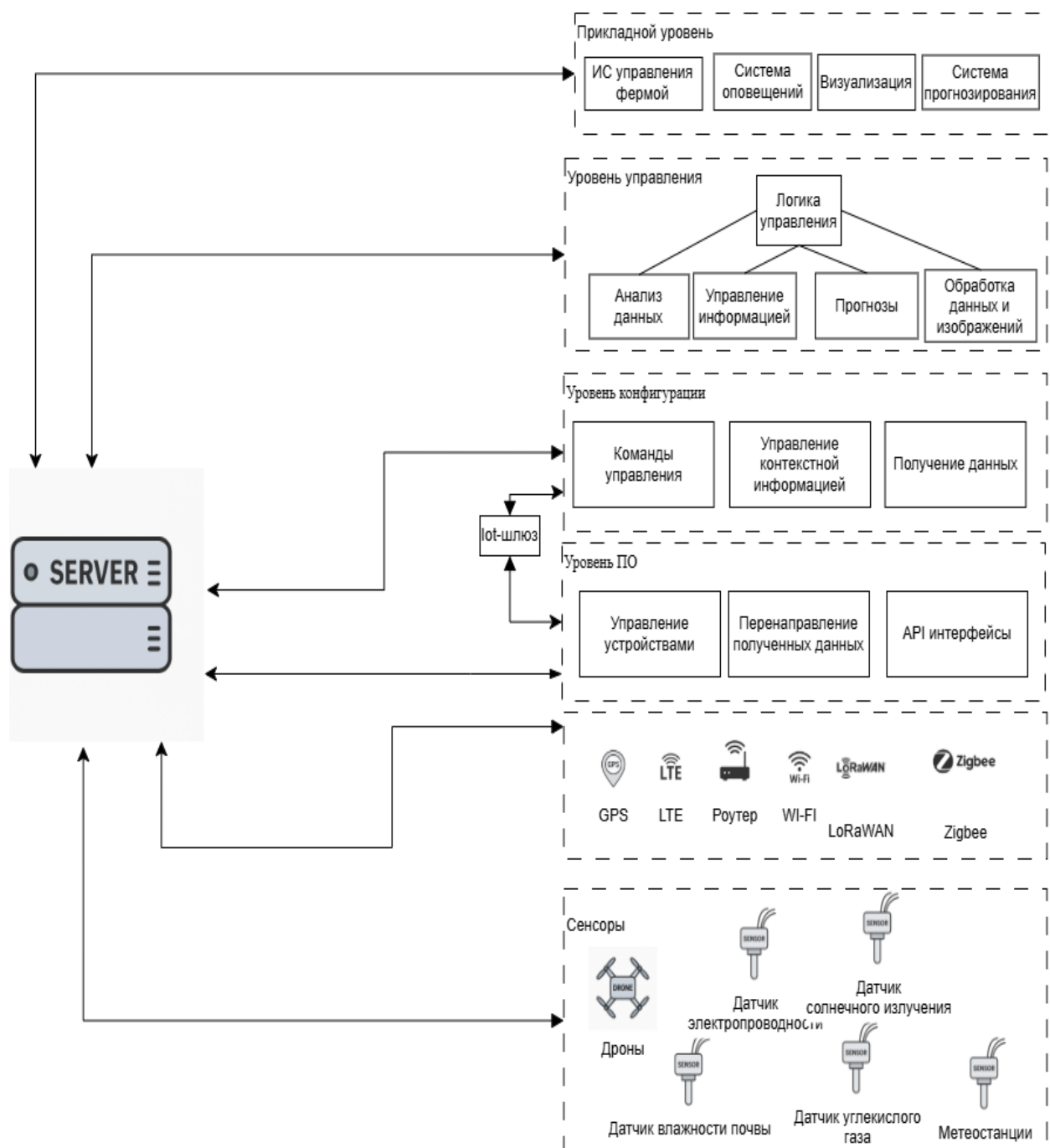


Рисунок 1 – Общая схема информационной системы для точного земледелия

Источник: подготовлено авторами

- моделирует процесс роста и развития растений, принимая во внимание климатические условия, доступность влаги, света и прочие биофизические факторы;

- прогнозирует ожидаемый объем урожая с использованием алгоритмов машинного обучения (линейная регрессия, искусственные нейронные сети), основываясь на текущих параметрах почвы, растений и текущих погодных показателях;

- осуществляет расчеты оптимальной стратегии использования ресурсов (норма внесения удобрений, объемы орошения, обработка средствами защиты растений), используя специальные алгоритмы оптимизации.

4) Подсистема поддержки принятия решений (ПППР) обеспечивает разработку рекомендаций по оптимальному внесению удобрений, поливу, обработке почвы и другим агротехническим мероприятиям на осно-

ве анализа данных и результатов моделирования. Предоставляет руководству предприятия необходимые сведения для обоснования принимаемых мер:

- дает конкретные советы по проведению агротехнических мероприятий, включая внесение удобрений, режим орошения, порядок подготовки почвы и прочие операции, рассчитанные на максимизацию результата;

- позволяет проводить виртуальные эксперименты, оценивая последствия изменения внешних условий (например, колебания климата, стоимость препаратов и удобрений) на конечный показатель урожайности и финансовую отдачу от вложенных средств;

- представляет всю необходимую информацию в удобной форме (карты, графики, отчеты), помогающей администрации быстро и качественно принимать взвешенные решения.

5) Подсистема интеграции с ERP-системой (ПИЭ) обеспечивает обмен данными между ИС и ERP-системой для планирования, учета и контроля ресурсов, а также автоматизации бизнес-процессов, связанных с управлением сельскохозяйственным производством:

- организует двунаправленный обмен данными между двумя указанными системами, передавая актуальные сведения о состоянии посевов, финансовых затратах и рыночных котировках между ними;

- автоматизирует рабочие процессы, связанные с планированием, учетом и контроллингом ресурсов, упрощая управление деятельностью предприятия в целом.

Предлагаемая концепция ИС обеспечивает комплексный подход к управлению сельскохозяйственным производством, который основан на данных и передовых технологиях. Интеграция всех компонентов ИС позволяет создать единую информационную среду, обеспечивающую принятие обоснованных решений на всех этапах производственного цикла, от планирования до уборки урожая.

Практическая апробация. Апробация предлагаемой концепции информационной системы (с базовым вариантом функционала) была осуществлена на базе сельскохозяйственного предприятия «N», расположенного в Орловской области. Хозяйство специализируется на выращивании зерновых (пшеница,

ячмень) и технических (подсолнечник, рапс) культур. Для апробации ИС было выбрано поле площадью 75 гектаров предназначенное для выращивания озимой пшеницы.

а) Описание процесса сбора, обработки и анализа данных.

Процесс сбора, обработки и анализа данных включал следующие 3 этапа:

1) Сбор данных.

Датчики почвы автоматически измеряли влажность, температуру и электропроводность почвы каждые два часа и передавали данные по беспроводной сети на центральный сервер.

Метеостанция автоматически измеряла температуру воздуха, влажность, осадки, скорость и направление ветра каждые 15 минут и передавала данные по беспроводной сети на центральный сервер.

Дрон проводил аэрофотосъемку поля каждые две недели в течение вегетационного периода. Полученные изображения обрабатывались с использованием программного обеспечения Agisoft Metashape для создания ортофотоплана и цифровой модели рельефа.

Проводились ручные измерения биомассы и содержания хлорофилла в листьях растений в 10 точках на поле каждые две недели.

2) Обработка данных.

Данные, полученные с датчиков почвы и метеостанции, очищались от ошибок и пропусков.

Ортофотоплан и цифровая модель рельефа, полученные с дрона, геопривязывались и интегрировались в ГИС.

На основе мультиспектральных изображений, полученных с дрона, рассчитывались вегетационные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), характеризующие состояние посевов.

Данные, полученные с различных источников, объединялись в единую базу данных.

3) Анализ данных.

Проводился статистический анализ данных для выявления взаимосвязей между параметрами почвы, растениями и погодными условиями.

Использовались методы машинного обучения (кластеризация, классификация,

регрессия) для прогнозирования урожайности и выявления проблемных участков на поле.

Проводился пространственный анализ данных для создания карт распределения параметров почвы, урожайности и вегетационных индексов.

б) Представление результатов анализа данных.

Результаты анализа данных были представлены в виде карт:

- распределения параметров почвы (карты влажности, температуры и электропроводности почвы, созданные на основе данных датчиков почвы и методов интерполяции);

- распределения вегетационных индексов (карты NDVI и GNDVI, характеризующие состояние посевов, созданные на основе данных аэрофотосъемки);

- прогнозируемой урожайности (карты, показывающие прогнозируемую урожайность на различных участках поля, созданные на основе методов машинного обучения);

- отчетов, содержащих статистические данные о состоянии почвы, растений и погодных условиях, а также рекомендаций по оптимизации использования ресурсов.

в) Оценка влияния ИС на урожайность.

Для оценки влияния ИС на урожайность был проведен сравнительный анализ урожайности на поле, где использовалась ИС с базовым функционалом, и на контрольном поле, где применялись традиционные методы земледелия. Результаты анализа показали, что использование ИС позволило повысить урожайность озимой пшеницы на 12% по сравнению с контрольным полем. Кроме того, было отмечено снижение затрат на удобрения на 20% и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

Обсуждение результатов. Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность предлагаемой концепции информационной системы для точного земледелия в аспекте повышения урожайности и сокращения расходов на сельскохозяйственное производство. Благодаря комбинации данных, собираемых с датчиков почвы, метеостанций и дронов, удастся получать детализированную картину текущего состояния почвенного покрова, растительности и окружающей среды,

что создает основу для своевременного и компетентного принятия управленческих решений. Повышение урожайности и снижение затрат на азотные удобрения по сравнению с контрольным полем свидетельствует о том, что ИС позволяет рационализировать использование ресурсов и адаптировать агротехнические мероприятия к конкретным потребностям каждого участка поля.

Сравнение полученных результатов с результатами других исследований в данной области показывает, что предлагаемая концепция ИС находится на хорошем уровне относительно мировых практик. В работах Марюса Казлаускаса и соавторов [26] продемонстрировано аналогичное повышение урожайности озимой пшеницы до 14,55 % при экономии удобрений, а работа Никлаоса Георгиадиса и соавторов [27] подтвердила, что технология VRA дает устойчивое сокращение затрат азотных удобрений примерно на 9 % без потери продуктивности.

Необходимо отметить, что данное исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, оценка эффективности ИС проводилась на одном поле в течение одного вегетационного периода, что не позволяет учесть влияние различных погодных условий и сортовых особенностей на результаты. Во-вторых, не проводилась оценка влияния ИС на качество продукции и другие показатели эффективности сельскохозяйственного производства. В дальнейшем планируется провести более масштабные исследования с использованием таких ИС на различных полях и в течение нескольких вегетационных периодов. Также планируется расширить функциональность ИС, добавив возможность интеграции с системами управления предприятием (ERP) и другими информационными системами.

Заключение. В рамках проведенного исследования предложена и апробирована на практике концепция информационной системы для точного земледелия, обеспечивающая эффективное аккумулирование, обработку, анализ и интерактивное представление данных о состоянии почвы, росте растений и особенностях внешней среды. Комплексная схема ИС включает модуль сбора данных, блок геопространственного анализа, мощную аналитическую составляющую и специальный интерфейс поддержки принятия реше-

ний, функционирующие совместно на единой платформе. Апробация базового функционала системы показала, в сравнении с традиционной технологией, рост урожайности озимой пшеницы и сокращение расходов на удобрения. Данный эффект достигнут за счет персонализированного подхода к обслуживанию каждой отдельной части земельного надела, который учитывает индивидуальные характеристики и потребности в ресурсах.

Рассматриваемая концепция ИС позволяет создавать высокотехнологичные сельскохозяйственные предприятия, использующие непрерывный сбор данных и глубокую аналитику. Возможность интеграции с корпо-

ративными информационными системами управления ресурсами будет способствовать выходу на новый качественный уровень прозрачности и управляемости на всех этапах сельскохозяйственного производства. Будущие шаги исследований могут быть направлены на обогащение функционала системы новыми аналитическими процедурами, а также всестороннюю проверку работоспособности концепции ИС в разных регионах страны и с учетом особенностей возделываемых культур. Дополнительные исследования позволят раскрыть потенциал системы и закрепить позиции точного земледелия как ключевой составляющей современной аграрной политики.

Список источников

1. Помазкина Л. В. Оценка воздействия среды на функционирование агроэкосистем // Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции European Research: в 2 частях. Том Часть 1. 2017. – Пенза: Наука и Просвещение, 2017. – С. 31–34.
2. Thiruvengadam V., Yang Y., Chen B. A Review of Precision Agriculture Technologies for Site-Specific Nutrient Management // *Agronomy*. – 2022. – № 12 (8). – С. 1767. (In Eng.).
3. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision Agriculture and Food Chain Management // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2010. – № 73 (2). – С. 172–183. (In Eng.).
4. Stafford J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2000. – № 76 (3). – С. 267–275. (In Eng.).
5. McBratney A. B., Whelan B. M., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture // *Precision Agriculture*. – 2005. – № 6 (1). – С. 7–23. (In Eng.).
6. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Fidelibus M. W., Green M. T. On-the-go Soil Sensors for Precision Agriculture // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2004. – № 44 (1). – С. 71–91. (In Eng.).
7. Viscarra Rossel R. A., Adamchuk V. I., Sudduth K. A., Hummel J. W. Global Relationships for Soil Property Estimation from Visible and Near-Infrared Spectra // *Soil Science Society of America Journal*. – 2011. – № 75 (5). – С. 1788–1803. (In Eng.).
8. Hunt E. R., Jr, Cavigelli M. A., Daughtry C. S. T., Walthall C. L., Kim M. S. Remote Sensing of Crop Leaf Area Index Near Saturation // *Agronomy Journal*. – 2005. – № 97 (6). – С. 1619–1627. (In Eng.).

References

1. Pomazkina L. V. Assessment of the Impact of the Environment on the Functioning of Agroecosystems. Collection of articles of the XIII International scientific and practical conference European Research: in 2 parts. Volume Part 1. 2017. Penza: Nauka i Prosveshcheniye. 2017. pp. 31–34. (In Russ.).
2. Thiruvengadam V., Yang Y., Chen B. A Review of Precision Agriculture Technologies for Site-Specific Nutrient Management. *Agronomy*. 2022. No. 12 (8). P. 1767.
3. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision Agriculture and Food Chain Management. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010. No. 73 (2). pp. 172–183.
4. Stafford J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2000. No. 76 (3). pp. 267–275.
5. McBratney A. B., Whelan B. M., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. 2005. No. 6 (1). pp. 7–23.
6. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Fidelibus M. W., Green M. T. On-the-go Soil Sensors for Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2004. No. 44 (1). pp. 71–91.
7. Viscarra Rossel R. A., Adamchuk V. I., Sudduth K. A., Hummel J. W. Global Relationships for Soil Property Estimation from Visible and Near-Infrared Spectra. *Soil Science Society of America Journal*. 2011. No. 75 (5). pp. 1788–1803.
8. Hunt E. R., Jr, Cavigelli M. A., Daughtry C. S. T., Walthall C. L., Kim M. S. Remote Sensing of Crop Leaf Area Index Near Saturation. *Agronomy Journal*. 2005. No. 97 (6). pp. 1619–1627.

9. Berni J. A. J., Zarco-Tejada P. J., Suárez L., Ferrio J. P., Araus J. L. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2009. – № 47 (3). – С. 722–738. (In Eng.).
10. Auernhammer H. Precision Farming – the Environmental Challenge // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2001. № 30 (1–3). С. 31–45. (In Eng.).
11. Lark R. M., Stafford J. V., Bolam H. C. Analysis of Spatial Variation in Soil and Crop Properties // *Advances in Agronomy*. – 2003. – № 81. – С. 203–276. (In Eng.).
12. Pierce F. J., Nowak P. Aspects of Precision Agriculture // *Advances in Agronomy*. – 2003. – № 68. – С. 1–85. (In Eng.).
13. Robert P. C. Precision Agriculture: A Challenge for Crop Nutrition Management // *Plant and Soil*. – 2002. – № 247 (1). – С. 143–153. (In Eng.).
14. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision Agriculture and Sustainability // *Agronomy Journal*. – 2012. – № 104 (3). – С. 663–680. (In Eng.).
15. Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. Opinion: Smart Farming Needs Sound Agronomy // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2017. – № 114 (22). – С. 5908–5911. (In Eng.).
16. Eastwood C. R., Brooker A., Uysal I., Dennett A. Cloud Computing for Agricultural Development // *Journal of Agricultural Science*. – 2019. – № 157 (6). – С. 461–472. (In Eng.).
17. Kamilaris A., Kartakoulis A., Prenafeta-Boldú, F. X. A Review of the Use of Blockchain for IoT Data Management and Security // *IoT*. – 2017. – № 1 (3). – С. 1–27. (In Eng.).
18. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine Learning in Agriculture: A Review // *Sensors*. – 2018. – № 18 (8). – С. 2674. (In Eng.).
19. Veres M., Văduva C., Baciuc C. Data Mining Techniques for Precision Agriculture: A Systematic Review // *Agriculture*. – 2022. – № 12 (10). – С. 1694. (In Eng.).
20. Barnes N. M., Cox P. G. The Integration of Precision Agriculture Information into a Whole Farm Management System // *Precision Agriculture*. – 2000. – № 2 (3). – С. 285–295. (In Eng.).
21. Klopfenstein C., Trent D. Integrating Precision Agriculture Technologies with Enterprise Resource Planning Systems // *Precision Agriculture*. – 2003. – № 4 (4). – С. 383–394. (In Eng.).
22. Swinton S. M., Lowenberg-DeBoer J. Evaluating the Profitability of Site-Specific Farming // *Site-Specific Management for Agricultural Productivity*. – 2001. – С. 495–520. (In Eng.).
23. Uri N. D. Agriculture and the Environment: The Issue of Nutrient Runoff // *Ecological Economics*. – 2000. – № 33 (1). – С. 69–81. (In Eng.).
9. Berni J. A. J., Zarco-Tejada P. J., Suárez L., Ferrio J. P., Araus J. L. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2009. No. 47 (3). pp. 722–738.
10. Auernhammer H. Precision Farming – the Environmental Challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2001. No. 30 (1–3). pp. 31–45.
11. Lark R. M., Stafford J. V., Bolam H. C. Analysis of Spatial Variation in Soil and Crop Properties. *Advances in Agronomy*. 2003. No. 81. pp. 203–276.
12. Pierce F. J., Nowak P. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2003. No. 68. pp. 1–85.
13. Robert P. C. Precision Agriculture: A Challenge for Crop Nutrition Management. *Plant and Soil*. 2002. No. 247 (1). pp. 143–153.
14. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision Agriculture and Sustainability. *Agronomy Journal*. 2012. No. 104 (3). pp. 663–680.
15. Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. Opinion: Smart Farming Needs Sound Agronomy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. No. 114 (22). pp. 5908–5911.
16. Eastwood C. R., Brooker A., Uysal I., Dennett A. Cloud Computing for Agricultural Development. *Journal of Agricultural Science*. 2019. No. 157 (6). pp. 461–472.
17. Kamilaris A., Kartakoulis A., Prenafeta-Boldú, F. X. A Review of the Use of Blockchain for IoT Data Management and Security. *IoT*. 2017. No. 1 (3). pp. 1–27.
18. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*. 2018. No. 18 (8). P. 2674.
19. Veres M., Văduva C., Baciuc C. Data Mining Techniques for Precision Agriculture: A Systematic Review. *Agriculture*. 2022. No. 12 (10). P. 1694.
20. Barnes N. M., Cox P. G. The Integration of Precision Agriculture Information into a Whole Farm Management System. *Precision Agriculture*. 2000. No. 2 (3). pp. 285–295.
21. Klopfenstein C., Trent D. Integrating Precision Agriculture Technologies with Enterprise Resource Planning Systems. *Precision Agriculture*. 2003. No. 4 (4). pp. 383–394.
22. Swinton S. M., Lowenberg-DeBoer J. Evaluating the Profitability of Site-Specific Farming. *Site-Specific Management for Agricultural Productivity*. 2001. C. 495–520.
23. Uri N. D. Agriculture and the Environment: The Issue of Nutrient Runoff. *Ecological Economics*. 2000. No. 33 (1). pp4:21 PM. 69–81.

24. Обухова А. С. и др. Цифровые технологии как фактор обеспечения конкурентоспособности в аграрном производстве // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 4 (97). – С. 112–116.
25. Зубарев Ю. Н. и др. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник ПФИЦ. – 2019. – № 2. – С. 47–51.
26. Kazlauskas M. et al. The Comparison Analysis of Uniform-and Variable-rate Fertilizations on Winter Wheat Yield Parameters Using Site-Specific Seeding // Processes. – 2022. – Т. 10. – № 12. – С. 2717. (In Eng.).
27. Georgiadis N. et al. Research Article Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology AAHE-184 ISSN 2690-1900.
24. Obukhova A. S. et al. Digital Technologies as a Factor in Ensuring Competitiveness in Agricultural Production. *Vestnik agrarnoi naiki*. 2022. No. 4 (97). pp. 112–116. (In Russ.).
25. Zubarev Yu. N. et al. Use of Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture. *Vestnik PFIC*. 2019. No. 2. pp. 47–51. (In Russ.).
26. Kazlauskas M. et al. The Comparison Analysis of Uniform-and Variable-rate Fertilizations on Winter Wheat Yield Parameters Using Site-Specific Seeding. *Processes*. 2022. Vol. 10. No. 12. P. 2717.
27. Georgiadis N. et al. Research Article Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology AAHE-184 ISSN 2690-1900.