

УДК 004.9:631.1

Яковлев Игорь Владимирович, ассистент кафедры компьютерных систем,
Казанский национальный исследовательский технический университет им.

А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань

Павлюк Даниил Артемович, обучающийся бакалавриата, Казанский
национальный исследовательский технический университет им. А.Н.

Туполева – КАИ, г. Казань

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Аннотация. Статья посвящена разработке локальной геоинформационной системы (ГИС) для мониторинга сельского хозяйства и анализа пространственных данных. Рассматриваются актуальные проблемы агропромышленного комплекса, такие как управление земельными ресурсами, антропогенная нагрузка и необходимость внедрения цифровых технологий. Авторы предлагают решение на основе современных веб-технологий, включая React.js, OpenLayers, Node.js, PostgreSQL и GeoServer, обеспечивающее визуализацию растровых и векторных данных, построение маршрутов, анализ снимков с помощью машинного обучения и другие функции. Разработанная система ориентирована на повышение эффективности управления сельскохозяйственными процессами, безопасность беспилотной техники и оперативный контроль инфраструктуры.

Annotation. The article is devoted to the development of a local geographic information system (GIS) for monitoring agriculture and analyzing spatial data. Current problems of agro-industrial complex, such as land management, anthropogenic load and the need to implement digital technologies are considered. The authors propose a solution based on modern web technologies, including React.js, OpenLayers, Node.js, PostgreSQL and GeoServer, providing visualization of raster and vector data, route building, image analysis using machine learning and other functions. The developed system is focused on improving the efficiency of

agricultural process management, safety of unmanned vehicles and operational control of infrastructure.

Ключевые слова: геоинформационные системы, сельское хозяйство, мониторинг, пространственные данные, дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты, цифровая модель местности, точное земледелие, React.js, OpenLayers, PostgreSQL, машинное обучение.

Keywords: Geographic information systems, agriculture, monitoring, spatial data, remote sensing, drones, digital terrain model, precision agriculture, React.js, OpenLayers, PostgreSQL, machine learning.

Сельское хозяйство играет ключевую роль в обеспечении продовольственной независимости страны и является важной частью ее экономики. Однако в современном мире агропромышленный комплекс сталкивается с рядом проблем: значительные площади пахотных земель концентрируются в управлении крупных агрохолдингов, одновременно с этим возрастает антропогенная нагрузка на земельные ресурсы, что требует пересмотра подходов использования земель [1,2]. Эффективное управление обширными территориями, включая координацию работы сотрудников и парка техники, становится все более сложной задачей [3,4]. Традиционные методы контроля, применявшиеся десятилетиями, имеют недостаточную точность и оперативность для принятия обоснованных управленческих решений [5,6]. В связи с этим критически важным становится внедрение передовых информационных технологий, в частности геоинформационных систем. Они предоставляют мощный инструмент для сбора, обработки и визуализации данных, полученных непосредственно с полей [7,8].

Актуальность широкого использования ГИС в сельском хозяйстве обусловлена тем, что они способны обеспечить учет различных факторов которые, влияют на здоровье агроэкосистемы: плодородие почвы, урожайность посевов, риски развития болезней [9,10]. Применение таких систем в сочетании с данными зондирования Земли, полученных как с космических аппаратов, так и с беспилотных летательных аппаратов,

открывает возможность эффективного мониторинга посевных земель на большой площади. Такой подход позволяет повысить точность и своевременность оценки состояния почвы, что помогает оптимизировать количество используемых семян, уменьшить количество удобрений и пестицидов, а также увеличить их эффективность за счет точечного применения. Геоинформационные системы также являются незаменимым инструментом для выявления проблемных участков, подверженных эрозии, нашествию вредителей и вспышкам заболеваний, что позволяет своевременно принять меры и минимизировать потери урожая [1].

В Российской Федерации правовые основы мониторинга земель заложены в Земельном кодексе РФ. Статья 67 определяет государственный мониторинг земель и его цели, включая обеспечение органов власти и граждан информацией о состоянии земель. Дистанционное зондирование Земли, как один из основных источников пространственных данных для ГИС, также регламентируется Законом РФ "О космической деятельности", который относит ДЗЗ к основным направлениям космической деятельности, в том числе для государственного экологического мониторинга. Муниципальный земельный контроль также опирается на данные мониторинга для выявления нарушений земельного законодательства.

Дополнительную актуальность внедрению ГИС придает стремительное развитие беспилотного транспорта в аграрной и логистической сферах. Для обеспечения безопасной эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств, как на дорогах общего пользования, так и на внутрихозяйственных территориях, согласно разрабатываемому законодательству, требуется создание цифровых двойников местности. Они должны включать детальные планы и карты маршрутов с актуальными данными о состоянии дороги [10]. Такое невозможно реализовать без цифровых технологий, таких как ГИС системы.

На российском рынке уже существует ряд геоинформационных систем, заточенных для нужд сельского хозяйства. Например: "ГИС Агроэколог

Онлайн", ориентированная на агроэкологический мониторинг; "Агросигнал" - комплексная платформа для управления агробизнесом; "Геоаналитика.Агро", использующая спутниковые данные для анализа состояния посевов; "Панорама АГРО", предназначенная для планирования и контроля сельскохозяйственных работ [1]. Однако, несмотря на наличие подобных систем, существует потребность в создании локальных ГИС, которые могут быть адаптированы под нужды конкретных сельскохозяйственных предприятий для решения специфических задач, например, обеспечения безопасного движения сельскохозяйственной техники, а также для оперативного контроля за строительством и реконструкцией дорожной инфраструктуры

Целью данного исследования является создание локальной геоинформационной системы, предназначенной для решения задач мониторинга в сельском хозяйстве и смежных отраслях с использованием данных дистанционного зондирования Земли, получаемых со спутников и беспилотных летательных аппаратов. Разрабатываемая система будет направлена на обеспечение безопасной эксплуатации беспилотной сельскохозяйственной техники путем создания цифровой модели местности, а также на информационную поддержку проведения геодезических и строительных работ, включая оперативный контроль за строительством и реконструкцией автомобильных дорог.

Объектом исследования являются геоинформационные системы и технологии, применяемые для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, а также процессы создания и использования пространственных данных для обеспечения работы беспилотной техники и контроля за состоянием инфраструктурных объектов.

Новизна данной работы заключается в создании локальной геоинформационной системы для мониторинга сельского хозяйства и смежных отраслей, адаптированной под нужды конкретных сельскохозяйственных предприятий. Отличие от существующих систем

состоит в том, что разрабатываемая ГИС будет ориентирована на решение специфических задач, таких как обеспечение безопасной работы сельскохозяйственной беспилотной техники, а также оперативный контроль за строительством и реконструкцией дорожной инфраструктуры. Таким образом, создается узкоспециализированный инструмент, сфокусированный на потребностях конкретного пользователя, а не универсальное решение с большим количеством ненужного функционала.

Разработка геоинформационной системы это комплексная задача, которая требует выбора не только подходящих технологий, но и проработки архитектуры, пользовательского интерфейса и функционала. От этих решений напрямую зависят производительность, масштабируемость и удобство использования системы.

Одним из первых ключевых решений стал выбор парадигмы построения пользовательского интерфейса. Обычно для создания приложений используются библиотеки вроде Qt, GTK или Tkinter. Они предоставляют широкий выбор инструментов для работы и позволяют создавать производительные приложения. Однако их применение сопряжено с рядом существенных недостатков. Хотя GTK и Qt стремятся обеспечить кроссплатформенность, достижение идентичного внешнего вида и поведения на разных операционных системах часто требует дополнительных усилий. Desktopные программы требуют установки на машину каждого пользователя. Также современные веб-технологии опережают desktopные библиотеки в плане гибкости для создания современных пользовательских интерфейсов.

Учитывая все это, было принято решение отказаться от классических библиотек для создания приложений в пользу веб-технологий. Такой подход гарантирует истинную кроссплатформенность и гарантированное единообразие интерфейса у всех пользователей, независимо от их операционной системы. Также это позволяет развернуть приложение на сервере и пользоваться им удаленно, используя браузер.

Для реализации клиентской части приложения, с которой будет взаимодействовать пользователь, была выбрана библиотека React.js. Она дает возможность создавать сложные интерфейсы с хорошей производительностью и минимальными затратами по времени. Эта библиотека использует механизм виртуального DOM для оптимизации обновления интерфейса. Вместо того, чтобы сразу вносить изменения в реальное DOM-дерево, они сначала применяются к легковесному виртуальному, а потом уже только необходимые минимальные правки вносятся в сам DOM. Позволяет описывать элементы в декларативном стиле, что упрощает отладку и понимание кода. Также React популярен и имеет обширное сообщество разработчиков, что означает обилие готовых решений и библиотек, учебных материалов и быструю помощь в решении возникших проблем.

Для картографической визуализации, являющейся ключевой частью любой ГИС, была выбрана библиотека OpenLayers. Она предоставляет широкие возможности работы с пространственными данными и тонкую настройку вывода их на карту. Использует современные возможности браузеров и обеспечивает поддержку большого вида форматов таких как WMS, WFS, GeoJSON, KML. Поддерживает как векторную, так и растровую графику, что позволяет гибко отображать информацию. Имеет подробную документацию и множество типовых примеров, что упрощает разработку. Также данная библиотека имеет интеграцию с GeoServer, который был выбран в качестве картографического сервера, в котором хранится информация о слоях, которые отображаются на карте.

Node.js обеспечивает логику работы с базой данных, что позволило использовать язык JavaScript как на стороне клиента, так и на стороне сервера, упрощая разработку. Также он поддерживает асинхронные запросы для улучшения производительности и большое количество библиотек, что позволяет быстро внедрять новый функционал через доработку тонкого клиента.

В качестве системы управления базами данных была выбрана PostgreSQL. Это объектно-реляционная СУБД, известная своей надежностью и стабильностью, поддерживающая различные расширения, такие как PostGIS. Оно позволяет хранить и обрабатывать пространственные данные непосредственно в базе данных. PostgreSQL вместе с PostGIS является де-факто стандартом в мире ГИС благодаря своей мощи и функциональности.

Для публикации пространственных данных из базы в стандартных форматах, понятных OpenLayers, используется GeoServer. Это позволяет отделить логику хранения данных от их представления на карте. Для оперативного дополнения геоподложки используются данные после обработки с использованием сервисов с использованием искусственного интеллекта написанных на Python и распознающих объекты по мере загрузки актуальных растровых данных.

Функциональные возможности разработанной геоинформационной системы:

- 1) Визуализация растровых слоев. Система позволяет выводить изображения со спутникового и беспилотного оборудования, что позволяет отслеживать ход работы, происходящий в интересующей вас области, оценивать ее эффективность и выявлять несанкционированные действия. На основе этих данных можно определить оптимальные объемы удобрения, пестицидов и воды, что позволит увеличить урожайность и снизить затраты на расходные материалы.
- 2) Сохранение области с выбором масштаба и слоями. Функциональность скачивания выделенной области позволяет создавать отчеты об обстановке на местности и проделанной работе. Возможно эффективно обмениваться данными с сотрудниками для принятия решений и архивировать данные для дальнейшего использования.
- 3) Вывод векторных слоев. Данная функция позволяет выводить границы объектов, лесов, полей, зданий. Дает возможность создавать наглядные карты, упрощающие понимание информации.

4) Создание кратчайших маршрутов в формате gpx. Этот функционал позволит оптимизировать перемещение транспорта. Также возможно загрузить данный маршрут в беспилотные аппараты для их перемещения, а сохранение высоты позволит беспилотникам создавать снимки на одинаковом расстоянии от земли.

5) Управление точками из базы данных. С помощью данной функции возможно маркировать важные объекты на карте, для упрощения навигации.

6) Наложение слоев. Данный функционал позволяет проводить комплексный анализ данных учитывая разные факторы.

7) Анализ снимков с помощью моделей машинного обучения. Интегрированный модуль позволяет распознавать объекты на снимках полученных с БПЛА и выводить полученные данные пользователю.

Добавление возможности создание 3D модели на основе снимков местности, что поможет увеличить безопасность передвижения автономного транспорта.

Проведена разработка локальной геоинформационной системы для мониторинга в сельском хозяйстве, адаптированной под нужды конкретных предприятий. Целью проекта было создание инструмента, способного обеспечить безопасную эксплуатацию беспилотной техники и оперативный контроль за строительством и реконструкцией инфраструктуры и обеспечивающей мониторинг за состоянием земель в реальном времени.

В ходе работы были определены и реализованы ключевые функциональные возможности системы, такие как визуализация растровых и векторных слоев, построения и экспорт маршрутов, взаимодействие с точками из базы данных, наложение слоев и анализ изображений с помощью моделей машинного обучения для распознавания объектов на земле и привязки их к геоподложке. При разработке применялись современные веб-технологии, обеспечивающие удобство использования и кроссплатформенность.

Разработанная ГИС отличается от существующих своей узкой специализацией и ориентированность на решение специфических задач,

связанных с безопасностью и контролем в сельскохозяйственной деятельности. Это позволяет предприятиям более эффективно управлять своими ресурсами и оптимизировать существующие процессы обработки земель и обеспечить их эффективное использование.

Данная система представляет собой ценный инструмент для сельскохозяйственных предприятий, стремящихся к цифровизации и внедрению точного земледелия. Дальнейшее развитие системы с интеграцией создания 3D-моделей местности, открывает возможности для создания еще более мощного и комплексного инструментария для управления агропромышленным производством.

Список литературы

1. Ковалева Е.В. Применение камерального дешифрирования при выявлении деградационных процессов на землях сельскохозяйственного назначения при землеустройстве // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2021. № 2. С. 138-143. DOI 10.33920/se1-04-2102-09.
2. Ямалеева Г.Н., Перухин М.Ю., Гибадуллин Р.Ф. Оптимизация исполнения SQL-запросов к базам данных под управлением MySQL // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017): Материалы XVI Международной конференции имени А.Ф. Терпугова, Казань, 29 сентября – 03 октября 2017 года. Том Часть 2. Казань: Издательство научно-технической литературы, 2017. С. 239-241.
3. Бикбулатова Г.Г. Методика применения геоинформационных технологий в точном земледелии // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО "Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина". Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. С. 46-50.
4. Викторов И.В., Гибадуллин Р.Ф. Принципы построения сервиса преобразования последовательного программного кода в параллельный

на базе машинного обучения // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK - 2023: Сборник материалов, Казань, 20–22 сентября 2023 года. Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2023. С. 743-748.

5. Лизунова И.В. Возможности современных ГИС для оценки состояния сельскохозяйственных почв и посевов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 6, № 2. С. 15-19.
6. Гибадуллин Р.Ф., Вершинин И.С. Состояние и перспективы развития ассоциативной стеганографии // Математические методы в технологиях и технике. 2024. № 11. С. 107-111.
7. Корпанов Р.В. Основные аспекты мониторинга агроэкосистем с помощью БПЛА сельскохозяйственного назначения // Защита растений от вредных организмов: Материалы XI международной научно-практической конференции. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. С. 203-206.
8. Гибадуллин Р.Ф., Новиков А.А., Курочкин Г.В. и др. Параллельное управление защищенными картографическими базами данных в среде PostgreSQL // Геодезия, картография и маркшейдерия: Материалы Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием, Казань, 05 июня 2014 года / Сервис виртуальных конференций Рах Grid; составитель Д.Н. Синяев. Казань: Индивидуальный предприниматель Синяев Дмитрий Николаевич, 2014. С. 7-10.
9. Сафонова Т.В. ГИС для мониторинга и оценки сельскохозяйственных угодий // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 1(45). С. 19-27.
10. Гибадуллин Р.Ф., Гарипов Р.М., Диаров М.М. Параллельные модули импорт и экспорта защищенной картографической базы данных // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: Международная научно-практическая конференция,

Казань, 05–08 августа 2014 года. Том II. Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 2014. С. 418-421.

References

1. Kovaleva E.V. Application of office interpretation in identifying degradation processes on agricultural lands during land management // Land Management, Cadastre and Land Monitoring. 2021. No. 2. P. 138-143. DOI 10.33920/sel-04-2102-09.
2. Yamaleeva G.N., Perukhin M.Yu., Gibadullin R.F. Optimization of SQL query execution in MySQL databases // Information Technologies and Mathematical Modeling (ITMM-2017): Proceedings of the XVI International Conference named after A.F. Terpugov, Kazan, September 29 – October 03, 2017. Part 2. Kazan: Publishing House of Scientific and Technical Literature, 2017. P. 239-241.
3. Bikbulatova G.G. Methodology for the use of geoinformation technologies in precision agriculture // Catalog of Scientific and Innovative Developments of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2023. P. 46-50.
4. Viktorov I.V., Gibadullin R.F. Principles of building a service for converting sequential program code into parallel based on machine learning // International Forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2023: Proceedings, Kazan, September 20–22, 2023. Kazan: NCBJD, 2023. P. 743-748.
5. Lizunova I.V. Capabilities of modern GIS for assessing the condition of agricultural soils and crops // Interexpo Geo-Siberia. 2017. Vol. 6, No. 2. P. 15-19.
6. Gibadullin R.F., Vershinin I.S. State and prospects for the development of associative steganography // Mathematical Methods in Technologies and Engineering. 2024. No. 11. P. 107-111.
7. Korpanov R.V. Main aspects of monitoring agroecosystems using agricultural UAVs // Plant Protection from Harmful Organisms: Proceedings of the XI

International Scientific and Practical Conference. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2023. P. 203-206.

8. Gibadullin R.F., Novikov A.A., Kurochkin G.V., et al. Parallel management of protected cartographic databases in a PostgreSQL environment // Geodesy, Cartography and Mine Surveying: Proceedings of the All-Russian Scientific Internet Conference with International Participation, Kazan, June 05, 2014 / Pax Grid Virtual Conference Service; compiled by D.N. Sinyaev. Kazan: Individual Entrepreneur Sinyaev Dmitry Nikolaevich, 2014. P. 7-10.
9. Safonova T.V. GIS for monitoring and evaluation of agricultural lands // Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transport, Law. 2023. No. 1(45). P. 19-27.
10. Gibadullin R.F., Garipov R.M., Diarov M.M. Parallel import and export modules of a protected cartographic database // Search for effective solutions in the process of creating and implementing scientific developments in Russian aviation and rocket-space industry: International Scientific and Practical Conference, Kazan, August 05–08, 2014. Volume II. Kazan: Publishing House of Kazan State Technical University, 2014. P. 418-421.