

УДК 004.9

DOI 10.17513/snt.39705

УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ПОСРЕДСТВОМ ГЕОПОРТАЛОВ

Ямашкин С.А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

В статье представлены результаты научно-исследовательской работы, направленной на проектирование и разработку программного каркаса для развертывания геопорталов, ориентированных на повышение эффективности решения задач интеграции, обработки, анализа, синтеза, структуризации, визуализации и распространения пространственно-распределенных данных о природно-социально-производственных системах и метагеосистемах для обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах. Представлены результаты разработки программного каркаса практико-ориентированной геопортальной системы управления пространственно-распределенными ресурсами, отличающейся новой модульной организацией микросервисных компонентов. Представлено описание методики проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, основанной на процессах планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками, позволяющей повысить эффективность управления природно-социально-производственными системами. На основе геосистемного подхода разработана мультимодельная система консолидации пространственных данных для систематизации разнородной пространственной информации в проблемно-ориентированных системах управления. Реализован прототип модуля интеграции компонентов Интернета вещей вокруг геопортальной системы как подсистемы диспетчеризации, что позволяет осуществлять дистанционный мониторинг объектов и распределенных в пространстве систем землепользования, а также удаленное автоматизированное управление устройствами. Решение проектных задач позволило разработать программный каркас для развертывания геопортальных систем, позволяющих решать задачи мониторинга, удаленного управления и аналитики, с целью управления природно-социально-производственными системами.

Ключевые слова: геопортал, пространственные данные, управление в организационных системах, природно-социально-производственная система, инфраструктура пространственных данных

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-27-00651.

MANAGEMENT OF NATURAL-SOCIAL-PRODUCTION SYSTEMS VIA GEOPORTALS

Yamashkin S.A.

National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

The article presents the results of research work aimed at designing and developing a software framework for deploying geoportals focused on improving the efficiency of solving the problems of integration, processing, analysis, synthesis, structuring, visualization and dissemination of spatially distributed data on natural social production systems. and metageosystems to provide information support for managerial decision-making in organizational systems. The results of the development of a software framework for a practice-oriented geoportals system for managing spatially distributed resources, characterized by a new modular organization of microservice components, are presented. A description of the methodology for designing, developing, implementing and using SDI based on the processes of planning, identification, analysis, monitoring and risk management is presented, which makes it possible to increase the efficiency of managing natural-social-production systems. Based on the geosystem approach, a multi-model system for consolidating spatial data has been developed to systematize heterogeneous spatial information in problem-oriented control systems. A prototype module for integrating Internet of Things components around a geoportals system as a dispatching subsystem has been implemented, which allows remote monitoring of objects and land use systems distributed in space, as well as remote automated control of devices.

Keywords: geoportals, spatial data, management in organizational systems, natural-social-production system, spatial data infrastructure

The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 22-27-00651.

Природно-социально-производственные системы (ПСПС), представляющие собой иерархически упорядоченную совокупность природных, социальных и хозяйственных компонентов, объединенных в единое целое за счет наличия связей раз-

личной природы и силы, представляют собой объект управления в организационных системах, деятельность которых выстроена вокруг мониторинга природных, природно-техногенных, социальных процессов и использования пространственно-рас-

пределенных ресурсов. Базовым инструментом информационного и программного обеспечения систем управления ПСПС и механизмов принятия решений становятся при этом географические информационные системы (ГИС), позволяющие интегрировать и распространять большие объемы пространственных данных о территориально-распределенных организационных системах [1].

Аппаратные, программные, организационные и информационные узлы, реализующие решение задач обмена, трансформация и управление системой мультимодельных пространственных данных формируют инфраструктуры пространственных данных (ИПД) организационных систем. Эффективный доступ к пространственным данным может быть предоставлен посредством геопортальных систем, реализованных с применением веб-технологий. Консолидированные в системе данные могут агрегироваться, обрабатываться и анализироваться на основе применения автоматических и автоматизированных алгоритмов, реализующих функцию поддержки принятия управленческих решений в организационных системах. Субъект управления (лицо, принимающее решение (ЛПР)) при этом получает возможность решать две принципиальные задачи: мониторинга ПСПС и отправки управляющих команд (рис. 1).

Решение задач дистанционного управления и сбора данных о пространственно-распределенных объектах и метагеосистемах на основе геопортальных систем может быть автоматизировано с применением технологий Интернета вещей (In-

ternet of Things, IoT), позволяющих организовать телекоммуникационную сеть передачи данных между устройствами, взаимодействующими между собой с окружающей средой [2].

Разворачиваемые в организационных системах инфраструктуры пространственных данных представляют собой практико-ориентированные технологии управления ПСПС, основанные на использовании пространственных данных и средств их ETL (Extract, Transform, Load) преобразования. Одновременно с тем, что спектр задач, решаемых в процессе управления ПСПС, может серьезно отличаться в различных организационных системах, можно выделить и набор вариантов использования, являющихся общими для подавляющего числа внедряемых систем. Данное утверждение приводит к целесообразности разработки платформенного решения в области управления организационными системами на основе пространственных данных, каркаса (фреймворка), позволяющего быстро и эффективно разворачивать конкретные экземпляры геопортальных систем для решения задач управления в организационных ПСПС различного назначения и масштаба.

Цель исследования – проектирование и разработка программного каркаса для разворачивания геопорталов, ориентированных на повышение эффективности решения задач интеграции, обработки, анализа, синтеза, структуризации, визуализации и распространения пространственно-распределенных данных о ПСПС для обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений.



Рис. 1. Природно-социально-производственная система как объект управления

Для достижения обозначенной цели были поставлены и последовательно решены следующие задачи:

1. Реализована в виде программного каркаса практико-ориентированная геопортальная система управления пространственно-распределенными ресурсами, отличающаяся новой модульной организацией микросервисных компонентов.

2. Предложена методика проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, основанная на процессах планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками, позволяющая повысить эффективность управления ПСПС.

3. На основе геосистемного подхода разработана мультимодельная система консолидации пространственных данных для систематизации разнородной пространственной информации в проблемно-ориентированных системах управления.

Решение обозначенных задач позволило разработать программный каркас для развертывания геопортальных систем, позволяющих решать задачи мониторинга, удаленного управления и аналитики, с целью управления ПСПС.

Материалы и методы исследования

Исходя из утверждения о том, что ИПД для эффективного решения задач управления ПСПС должны решать задачи управления, интеграции, визуализации и анализа пространственных данных, можно сформулировать гипотезу о том, что базовую основу ИПД должны формировать подсистемы следующих типов: внешние IoT-компоненты, распределенные облачные хранилища, геопорталы, компоненты обработки, анализа и управления данными (рис. 2). При этом с точки зрения внутренней организации эти подсистемы должны представлять собой не монолитные структуры, а конгломерат изолированных и слабо зацепленных компонентов, выполняющих свои конкретные задачи.

Представленное утверждение вытекает на основе анализа и практического использования принципов SOLID, применяемых в объектно-ориентированном проектировании и программировании и ориентированных на разработки сложных, но гибко модифицируемых и легко расширяемых программно-аппаратных систем. Разрабатываемые и внедряемые на основе обозначенных принципов компоненты сложной системы должны быть ориентированы на выполнение строго своей задачи, при этом находясь в минимальной зависимости от сторонних компонентов: необходимость создания, модификации, замены одного модуля не долж-

на приводить к серьезной трансформации остальной системы. С данной точки зрения ключевые подсистемы ИПД начинают скорее формировать ограничивающие рамки для микросервисов ИПД, чем представлять собой независимые системы [3]. Различные программные и аппаратные модули подсистем могут решать при этом различные задачи, функционируя как на разных серверах, так и в различных точках географического пространства. В рамках ИПД организационной системы таким образом может быть развернуто несколько экземпляров геопорталов, хранилищ данных и систем анализа пространственных данных.

Геопорталы являются точкой доступа к пространственным данным о ПСПС, консолидированным в ИПД, а также к функциям дистанционного управления компонентами системы. Геопорталы функционируют на основе современных веб-технологий, представляя собой прикладное программное обеспечение, которое может быть запущено на стационарных рабочих станциях и мобильных устройствах. Посредством веб-интерфейса геопорталы предоставляют авторизованный доступ к функционалу цифровой карты, подсистеме CRUD-управления пространственными данными, сервисам оповещений, управления автоматизацией, интеграции с компонентами Интернета вещей и модулями анализа данных.

Подсистемы обработки, анализа и управления данными интегрируют в себе совокупность исполнительных сервисов автоматизации и аналитики, запускаемых посредством использования компонента оркестрации, включающего менеджер задач и связанные с ним вспомогательные модули. Посредством связующего программного обеспечения подсистема обработки, анализа и управления данными может быть интегрирована с распределенными облачными хранилищами [4] и внешними IoT-устройствами, а также имеет прикладные программные интерфейсы, позволяющие осуществлять обмен данными с геопортальными системами ИПД.

Распределенные облачные хранилища функционируют на основе мультимодельной парадигмы, обеспечивая интеграцию данных посредством использования систем управления базами данных (СУБД) разного типа (объектных, реляционных, резидентных, колоночных, документно-ориентированных) решающих задачи систематизации пространственных данных и осуществления OLAP-аналитики [5]. Для обеспечения унифицированного доступа к мультимодельному хранилищу необходима организация прикладных программных интерфейсов, опирающихся на сервис-адаптер баз данных.

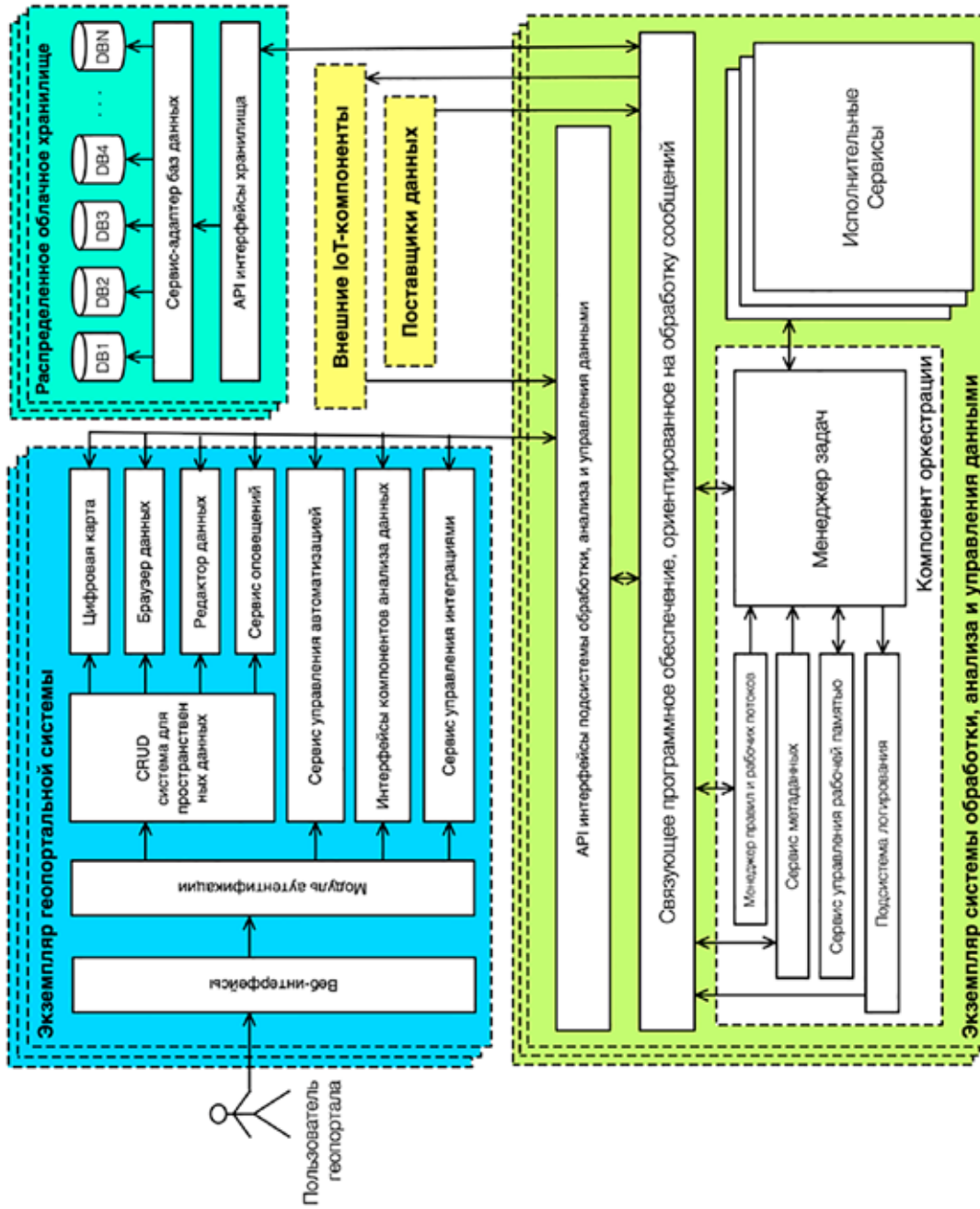


Рис. 2. Системные компоненты ИПД



Рис. 3. Интеграция процесса управления рисками в процесс разработки геопорталов

Отдельную задачу представляет собой необходимость консолидации знаний о методах и алгоритмах анализа данных: ее предложено решить посредством развертывания репозитория моделей.

Наконец, внешние IoT-компоненты представляют множество независимых устройств, функционирующих на основе микроконтроллеров и осуществляющих решение задач сбора данных с множества датчиков, запуска исполнительных устройств (актуаторов), и выполнение алгоритмов автоматизации. IoT-компоненты и подсистемы обработки, анализа и управления данными могут быть связаны посредством различных каналов связи и протоколов передачи данных, исходя из особенностей решаемой задачи.

В ходе разработки геопортального каркаса доказана эффективность итерационного подхода, предполагающего регулярную периодическую апробацию новых версий программного решения при решении конкретных проектных задач. Это позволяет контролировать релевантность и актуальность процессов поддержки и развития геопортального каркаса. При этом предлагается интегрировать процесс планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками [6] в процесс итерационной разработки геопортальных систем в форме входного этапа к анализу требований (рис. 3).

При этом каждая новая версия геопортальной системы становится инструментом мониторинга и управления рисками в организационных системах, деятельность кото-

рых направлена на оптимальное использование ПСПС.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанное платформенное программное решение позволяет решить задачу быстрого развертывания проблемно-ориентированных геопортальных систем управления пространственно-распределенными ресурсами. Программный каркас отличается новой модульной организацией микросервисных компонентов и формирует основу для функционирования компонента визуализации цифровых карт с послойным отображением различных тематических слоев. На рис. 4 представлен геопортал «Природное и культурное наследие Республики Мордовия», который создан на основе разработанного каркаса. Разработанные адаптивные веб-интерфейсы позволяют решать задачу визуализации иерархически-структурированных пространственных данных о геосистемной организации территорий [7, 8] посредством многослойных цифровых ландшафтных карт, оптимизированных на основе методологий UI/UX проектирования, ориентированных на пользовательские потребности, собранные в ходе предварительного проектного исследования. Представленная информационная система проектировалась исходя из необходимости решения задачи управления позитивными рисками (возможностями), связанными с использованием туристского и научного потенциала региона.

Важно отметить, что развитие геопортального каркаса ведется на основе двух взаимодополняющих стратегий: в рамках нисходящего подхода реализуется попытка эффективной реализации функциональных и качественных требований, необходимых для быстрой разработки подавляющего количества геопорталов различной направленности; при восходящем подходе ряд новых инженерных решений, появляющийся при создании конкретного геопортального

каркаса, может быть включен в базовый геопортальный каркас на правах успешно реализованной практики.

Для решения задачи актуализации хранилища пространственных данных геопортала разработана система администрирования, позволяющая манипулировать данными о метагеосистемах различного типа и обеспечивающая функционирование объектно-ориентированного подхода к управлению данными мультимодельного хранилища.

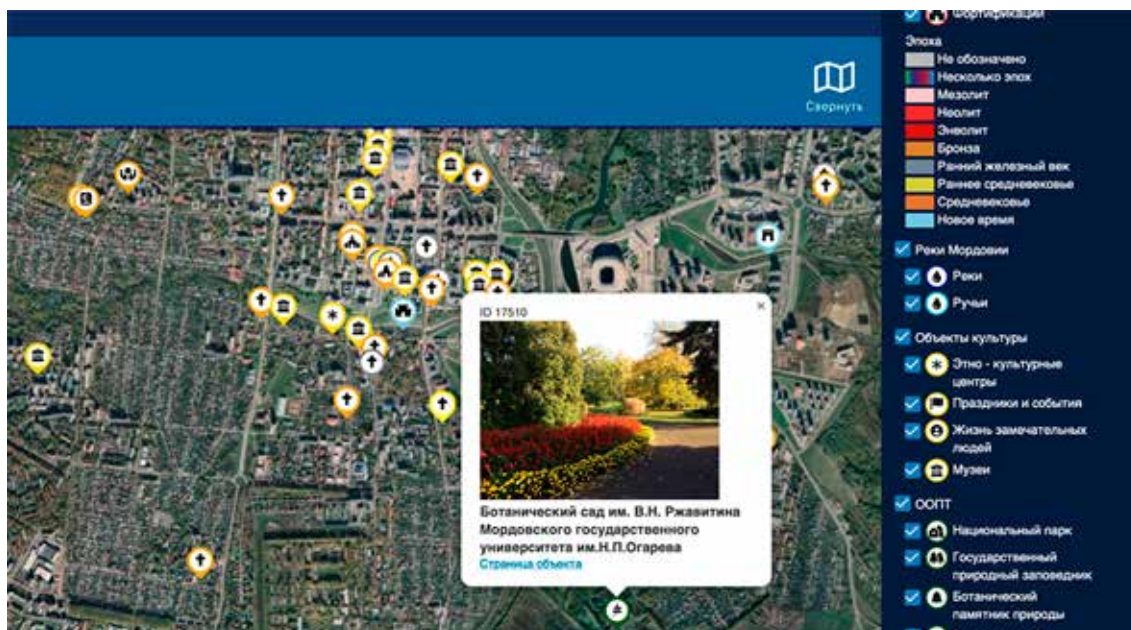


Рис. 4. Системные компоненты ИПД

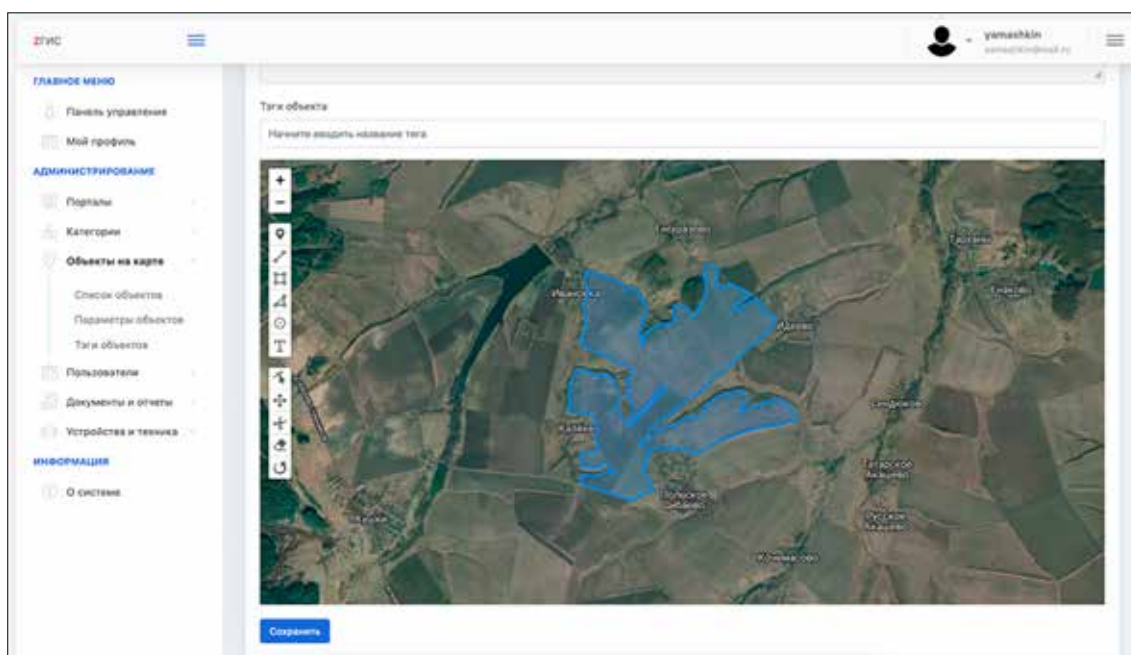


Рис. 5. Интерактивный редактор геометрии геообъекта

Мультимодельная система консолидации пространственных данных разработана на основе геосистемного подхода для решения задачи систематизации разнородной пространственной информации в проблемно-ориентированных системах управления. Для каждого геопортала, функционирующего вокруг развернутой ИПД, реализована функция конкретизации набора тематических слоев, которые могут быть привязаны к определенным категориям геообъектов. Для управления базой геоданных реализованы варианты использования для решения задач CRUD-управления геоданными, реализующие возможность интерактивного редактирования данных о геопространственных объектах (рис. 5).

Модуль интеграции компонентов Интернета вещей вокруг геопортальной системы как подсистемы диспетчеризации позволяет осуществлять дистанционный мониторинг объектов и распределенных в пространстве систем землепользования, а также удаленное автоматизированное управление устройствами Интернета вещей.

Для решения задачи обеспечения взаимодействия IoT-устройства с подсистемой обработки, анализа и управления данными ИПД принято решение использовать протокол передачи данных MQTT, реализующий обмен сообщениями на основе паттерна издатель/подписчик. Устройства при этом становятся MQTT-клиентами, являясь одновременно как издателями, так и подписчиками, публикующими и принимающими сообщения брокера. В качестве прототипа IoT-компонента разработана система автоматизированного полива, реализующая следующие функции [9]: дистанционное включение/выключение подачи воды; логирование значений влажности почвы и температуры; автоматизация полива на основании данных датчика влажности. Для реализации аппаратной платформы выбран микроконтроллер ESP8266, программная логика написана на языке программирования C++ с фреймворком Arduino Wiring. Для связи устройства с интернетом использована сеть Wi-Fi, апробировано использование сетей LoRaWan, позволяющих решить задачу устойчивой передачи телеметрии на длинные расстояния.

В рамках подсистемы обработки, анализа и управления данными ИПД разработаны и апробированы интеллектуальные методы, алгоритмы и комплексы программ поддержки принятия управленческих решений на основе комплексной интерпретации данных ДЗЗ, цифровых карт и вспомогательной пространственно-временной информации об иерархически организованных геосистемах [10].

Заключение

В статье описаны аспекты разработки геопортального программного каркаса, ориентированного на решение задач интеграции, обработки, анализа и распространения пространственных данных о ПСПС для поддержки принятия управленческих решений.

Для достижения обозначенной цели последовательно решена задача разработки программного каркаса практико-ориентированной геопортальной системы управления пространственно-распределенными ресурсами; предложена методика проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, основанная на процессах планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками, позволяющая повысить эффективность управления ПСПС; на основе геосистемного подхода разработана мультимодельная система консолидации пространственных данных для систематизации пространственной информации в проблемно-ориентированных системах управления.

В результате комплекса НИОКР разработан программный каркас для развертывания геопортальных систем, позволяющих решать задачи мониторинга, удаленного управления и аналитики, с целью управления ПСПС.

Список литературы

1. Liu X.Y., Yu J.S.D., Wei D.D., Tong R.J., Li D.Y., Luo S. A Standardized GIS Web Service Oriented Shared-nothing Architecture-Taking Species Distribution Modeling as an Example. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. № 1004 (1). P. 012016.
2. Kumar S., Tiwari P., Zymbler M. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review // Journal of Big data. 2019. № 6 (1). P. 1–21.
3. Li S., Zhang H., Jia Z., Zhong C., Zhang C., Shan Z., Babar M.A. Understanding and addressing quality attributes of microservices architecture: A Systematic literature review // Information and software technology. 2021. № 131. P. 106449.
4. Zhang C., Lu J. Holistic evaluation in multi-model databases benchmarking // Distributed and Parallel Databases. 2021. № 39. P. 1–33.
5. Maina J., Ouma P.O., Macharia P.M., Alegana V.A., Mitto B., Fall I.S., Okiro E.A. A spatial database of health facilities managed by the public health sector in sub Saharan Africa // Scientific data. 2019. № 6 (1). P. 134.
6. Kim S., Lee G., Kang H.G. Risk management and corporate social responsibility // Strategic Management Journal. 2021. № 42 (1). P. 202–230.
7. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
8. Николаев В.А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М.: МГУ, 1978. 62 с.
9. Правосудов А.Р., Ямашкин С.А. Интернет вещей: организация автоматизированного полива // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 2. С. 83–87.
10. Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Yamashkina E.O., Kamaeva A.A. Matters of neural network repository designing for analyzing and predicting of spatial processes // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2021. № 12 (5). P. 17–22.