

СТАТЬИ

УДК 004.6:004.9

DOI 10.17513/snt.39785

УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ¹Бершадский А.М., ²Ямашкин С.А.¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: bam@pnzgu.ru;²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

В статье дана характеристика комплексного подхода к решению научной проблемы разработки практико-ориентированных технологий управления территориально-распределенными организационными природно-социально-производственными системами на основе пространственных данных с целью обеспечения условий устойчивого развития регионов. Достижение поставленной цели основано на последовательном решении ряда основополагающих задач исследования. Представлено обоснование подхода управления организационными природно-социально-производственными системами на основе процессов идентификации, анализа и мониторинга рисков для обеспечения поддержки процесса принятия управленческих решений в области устойчивого развития. Дана характеристика ключевых принципов интеграции пространственных данных о территориально-распределенных системах с целью синтеза согласующихся и информативных массивов информации о территориально-распределенных подсистемах. Предложены направления развития методического и алгоритмического обеспечения систем интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в области оптимизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем, в том числе дана характеристика концепции построения репозитория для интеграции моделей и алгоритмов анализа пространственных данных для функционирования систем интеллектуальной поддержки принятия решений. Представлены принципы использования геопортальных технологий и Интернета вещей для интеграции, визуализации и распространения пространственных данных как практико-ориентированной технологии управления организационными природно-социально-производственными системами.

Ключевые слова: природно-социально-производственные системы, управление организационными системами, пространственные данные, инфраструктура пространственных данных, геоportal

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-27-00651, <https://rscf.ru/project/22-27-00651/>.

MANAGEMENT OF NATURAL-SOCIAL-PRODUCTION SYSTEMS BASED ON SPATIAL DATA¹Bershadskiy A.M., ²Yamashkin S.A.¹Penza State University, Penza, e-mail: bam@pnzgu.ru;²National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

The article characterizes an integrated approach to solving the scientific problem of developing practice-oriented technologies for managing territorially distributed organizational natural-social-production systems based on spatial data in order to ensure conditions for sustainable development of regions. Achieving this goal is based on the consistent solution of a number of fundamental research tasks. The rationale for the approach to managing organizational natural-social-production systems is presented based on the processes of identification, analysis and monitoring of risks to ensure support for the process of making management decisions in the field of sustainable development. The key principles of integration of spatial data about geographically distributed systems are characterized in order to synthesize consistent and informative arrays of information about geographically distributed subsystems. Directions for the development of methodological and algorithmic support for systems of intellectual support for management decision-making in the field of optimizing the interaction of natural, social and production subsystems are proposed, including a description of the concept of building a repository for the integration of models and algorithms for analyzing spatial data for the functioning of intelligent decision support systems. The principles of using geoportal technologies and the Internet of things for the integration, visualization and distribution of spatial data as a practice-oriented technology for managing organizational natural-social-production systems are presented.

Keywords: natural-social-production systems, management of organizational systems, spatial data, spatial data infrastructure, geoportal

The study was carried out with financial support from the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 22-27-00651, <https://rscf.ru/project/22-27-00651/>.

Решение задачи управления территориально-распределенными природно-социально-производственными системами (ПСФС) для целей обеспечения условий устойчивого развития регионов должно

опираться на процессы автоматизированного сбора, обработки, анализа, хранения и распространения пространственных данных. Важную роль при этом играет необходимость многопланового и сопряженного

изучения взаимодействий природных, технических и социальных объектов различного иерархического уровня [1].

Инфраструктуры пространственных данных (ИПД) организационных систем представляют собой информационные системы, аппаратные, программные, организационные и информационные узлы которых ориентированы формирование мультимодельных систем управления пространственными данными. Решение задач распространения и визуализации информации о территориальных системах при этом целесообразно осуществлять на основе внедрения и использования геопортальных систем, предоставляющих субъекту управления (лицу, принимающему решение (ЛПР)) возможность мониторинга и дистанционного управления ПСПС [2]. Процессы обработки и анализа больших массивов пространственных данных должны осуществляться на основе автоматических и автоматизированных алгоритмов обработки информации.

Цель исследования – решение научной проблемы разработки практико-ориентированных технологий управления территориально-распределенными организационными ПСПС на основе пространственных данных с целью обеспечения условий устойчивого развития регионов.

Достижение поставленной цели основано на последовательном решении следующих основных задач исследования.

1. Обоснование теоретических основ управления организационными ПСПС для обеспечения поддержки процесса принятия управленческих решений в области устойчивого развития.

2. Разработка системы интеграции пространственных данных о ПСПС с целью синтеза согласующихся и информативных массивов информации о территориально-распределенных подсистемах.

3. Развитие методического и алгоритмического обеспечения систем интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в области оптимизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем.

4. Разработка информационных систем для интеграции моделей и алгоритмов анализа пространственных данных для функционирования систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

5. Развитие геопортальных технологий интеграции, визуализации и распространения пространственных данных как практико-ориентированной технологии управления организационными природно-социально-производственными системами.

Последовательное решение представленных задач позволяет сформировать инструмент для оптимизации взаимодействия природных, социальных и производственных систем для обеспечения поддержки принятия управленческих решений.

Материалы и методы исследования

Обеспечение условий устойчивого развития регионов представляет собой процесс, направленный на минимизацию опасностей природного, техногенного и гуманитарного характера и максимизацию эффективности использования пространственно-распределенных ресурсов для решения задачи построения эффективных организационных природно-социально-производственных систем. С этой точки зрения процесс управления ПСПС должен опираться на результаты идентификации, анализа и мониторинга негативных и позитивных рисков и оценку причинно-следственных связей их возникновения. Итерационная интеграция процесса управления рисками в процесс разработки ИПД и геопорталов (рис. 1) целесообразна на этапе анализа требований информационной системы управления. В свою очередь, новые версии геопорталов и ИПД, спроектированные с вовлечением процессов идентификации, количественного и качественного анализа, оценки опасностей рисков и проектирования контролеров, сами становятся инструментом мониторинга и управления рисками в территориально-распределенных организационных ПСПС.

Система причинно-следственных связей возникновения рисков событий может быть структурирована в виде дерева, вершины которого могут как быть упорядочены по временным этапам, так и могут иметь привязку к иерархическому уровню риска. Управление риском R_i призвано минимизировать как негативные последствия его возникновения, так и воздействия порождаемых рисков R_j . Сила i -го риска P_{R_i} может быть определена следующим образом:

$$P_{R_i} = M_{R_i} + \sum_{j=1}^n r(R_i, R_j) \cdot P_{R_j},$$

где M_{R_i} – мера влияния i -го риска на эффективность управления ПСПС,

$r(R_i, R_j)$ – оценка вероятности появления j -го риска как последствия i -го риска,

P_{R_j} – сила j -го риска как следствия i -го риска.

Оценка силы рисков событий позволяет сформировать квазиоптимальную совокупность контролируемых рисков управления ПСПС и определить основную цель внедрения ИПД.

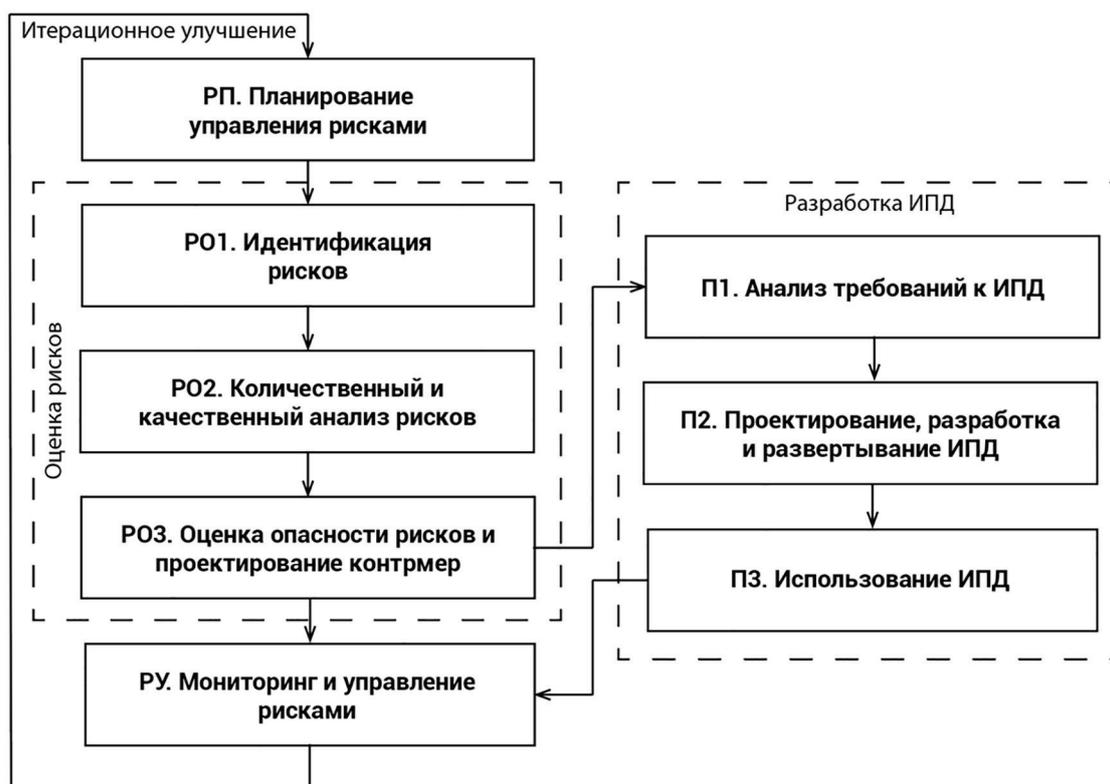


Рис. 1. Интеграция процесса управления рисками в процесс разработки ИПД и геопорталов

Важной особенностью подхода по управлению природно-социально-производственными системами, ориентированного на анализ и мониторинг рисков, является ориентация на гибкую организацию процесса разработки информационных систем (agile software development), направленных на минимизацию рисков посредством сведения цепочки процессов проектирования, разработки и внедрения ИПД к серии коротких циклов (итераций), артефактом каждого из которых становится завершённое программно-аппаратное решение, ориентированное на решение проблемно-ориентированных задач в области минимизации рисков управления ПСПС.

Проектно-ориентированные ИПД должны быть основаны на сильно связанных и слабо зацепленных за счет интерфейсов системных компонентах (сервисы), решающих задачи хранения, анализа, визуализации и распространения пространственных данных [3]. Внешними объектами к ИПД являются пользователи геопортальных систем, внешние потребители и поставщики пространственных данных, в том числе устройства Интернета вещей. Ключевые подсистемы ИПД формируют

ограничивающие рамки для микросервисов ИПД.

Анализ процессов функционирования ПСПС для принятия управленческих решений опирается на различные уровни интеграции пространственных данных (рис. 2).

Структуризацию информации о ПСПС целесообразно осуществлять на основе генетических, исторических и территориально-структурных принципов. Наиболее распространенная типологическая классификация природных геосистем была предложена В.А. Николаевым и предполагает выделение иерархии таксономических единиц: систем, классов, групп, типов, родов и видов [4]. Основные иерархические уровни социально-экономической структуризации территории: локальный, местный, муниципальный, областной, региональный, макрорегиональный, субпланетарный, глобальный.

Консолидация пространственных данных в ИПД должна осуществляться с использованием мультимодельных хранилищ, основанных на использовании СУБД разных классов [5] и характеризующихся способностью к масштабированию, надежностью и отказоустойчивостью.

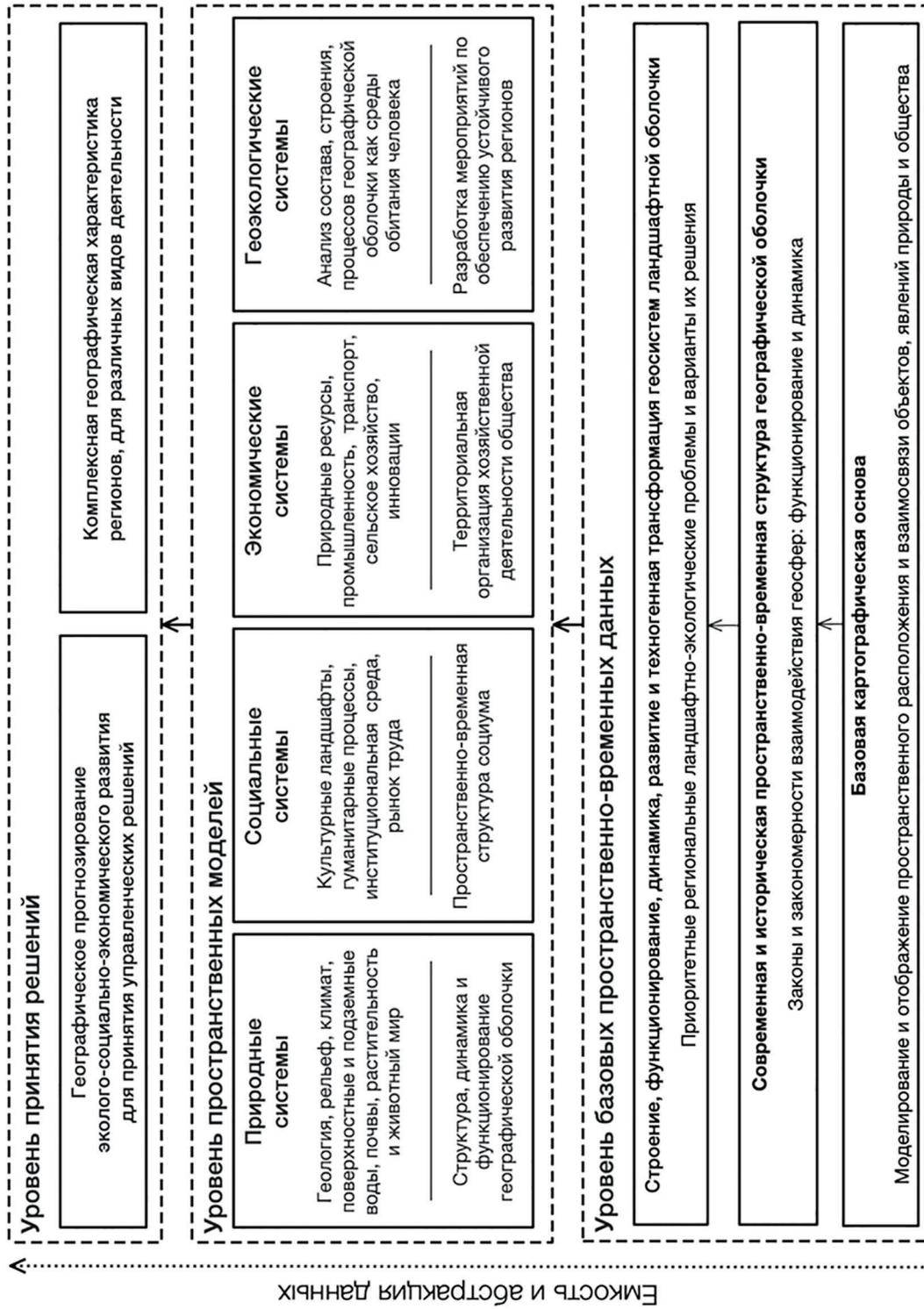


Рис. 2. Модель интеграции геопрограммирования информации в ИИД

Результаты исследования и их обсуждение

Решение задач управления позитивными и негативными рисками в природно-социально-производственных системах различного масштаба в значительной степени основывается на использовании данных дистанционного зондирования, являющихся важнейшим источником информации, позволяющим получать достоверные и оперативные знания о ПСПС значительного территориального охвата.

Ключевая идея нового подхода к повышению точности автоматизированного анализа пространственных данных основана на использовании геосистемного подхода [6, 7] для расширения набора анализируемых данных и разработки глубокой модели GeoSystemNet, способной эффективно эти данные анализировать [8]. Алгоритм расширения наборов анализируемых данных на основе геосистемного подхода основан на гипотезе о том, что на свойства каждой конкретной территории в серьезной мере оказывают влияние не только ее геофизические свойства, но также особенности вмещающих геосистем более высокого уровня иерархии, внутренние территориальные системы, а также соседние природные территориальные комплексы, с которыми анализируемая территория взаимодействует. В связи с этим точность анализа данных о территории может быть закономерно повышена благодаря автоматической и автоматизированной агрегации вспомогательных пространственных и атрибутивных данных о связанных территориальных системах. Геосистемный подход предоставляет существенные преимущества в условиях дефицита геопространственных обучающих данных вследствие анализа автоматически консолидируемой информации об управляемых ПСПС.

Модель GeoSystemNet основана на использовании блоков извлечения иерархических признаков из изображений территории разного масштаба и иерархического уровня, включающих слои разделимой по глубине двумерной свертки и субдескриптивизации. Модули объединения признаков принимают на вход признаки определенного уровня. Выходные данные модуля слияния признаков преобразуются в вектор с помощью операции выравнивания и вводятся в многослойный перцептрон. Одним из достоинств представленной модели GeoSystemNet является достаточное количество степеней свободы, допускающее ее гибкую настройку в зависимости от решаемой задачи. Совместное использование

геосистемного подхода с возможностями глубокого обучения позволяет оптимизировать процесс оперативной диагностики систем землепользования для обеспечения процессов поддержки принятия управленческих решений в организационных системах.

Отдельное значение представляют методы, алгоритмы и модели с использованием ансамблей неглубоких нейросетевых моделей, отличающихся алгоритмом предварительной подготовки и снижения размерности исходных данных посредством расчета территориальных ландшафтных метрик, а также новым способом объединения моделей машинного обучения в ансамбли, позволяющим повысить устойчивость систем классификации к проблеме переобучения и снизить требования к объему размеченных наборов данных и мощности рекомендуемого аппаратного обеспечения организационных систем. Нейросетевые модели малой емкости имеют важное свойство: они менее склонны к переобучению и способны хорошо обобщать информацию об анализируемых признаках.

Репозиторий нейросетевых моделей анализа пространственных данных представляет собой инструмент интеграции моделей для решения задач анализа пространственных данных с целью принятия управленческих решений в области управления территориально-распределенными ПСПС. Процесс формирования репозитория глубоких нейронных сетей в цифровой ИПД должен быть основан на проектно-ориентированном подходе, исходя из которого каждая нейросетевая модель должна быть сопоставлена со спектром проектных задач управления, в рамках которых она может быть использована, а также наборами данных, которые она способна анализировать (рис. 3).

Модуль визуального проектирования нейросетевых моделей представляет собой один из основных компонентов репозитория и позволяет визуализировать нейросетевые модели в виде граф-схемы с возможностью интерактивного онлайн-редактирования их топологии и архитектуры.

Геопортальные системы представляют собой проблемно-ориентированный инструмент управления ПСПС, решающий задачу визуализации и распространения пространственных данных на основе использования веб-технологий [9]. Геопорталы в том числе организуют доступ к результатам комплексного анализа больших массивов пространственных данных, осуществляемого на основе моделей и алгоритмов машинного обучения, консолидированных в репозитории нейросетевых моделей.

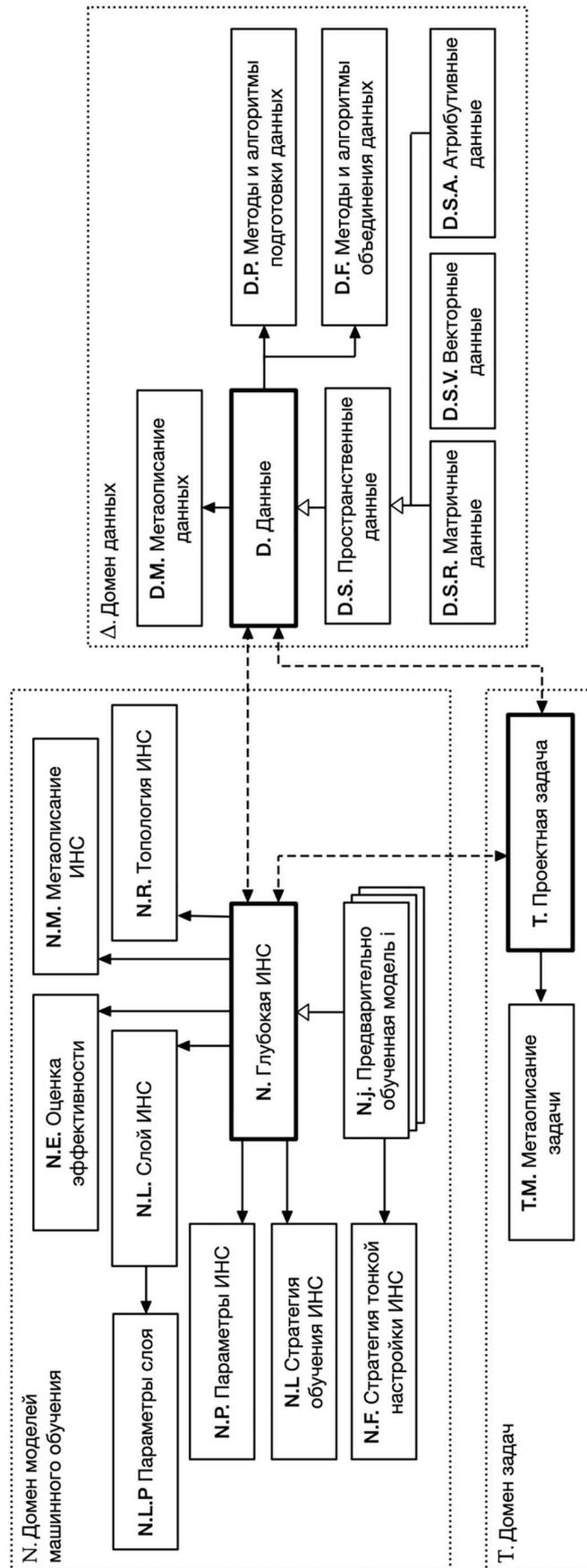


Рис. 3. Ключевые понятия модели данных репозитория нейронных сетей



Рис. 4. Цифровая карта «Природное и культурное наследие Республики Мордовия»

Примером геопортальной информационной системы, реализованной с использованием парадигмы проектирования на основе процессов управления рисками, является геопортал «Цифровая карта “Путешествуем с Русским географическим обществом”», реализованный по гранту РГО. На цифровой карте портала предоставляется функциональная возможность послойного отображения более чем 2850 объектов природного, исторического и культурного наследия различных тематических категорий (рис. 4).

Данные системы структурированы в 69 информационных блоках из 6 тематических разделов, основу контентного наполнения формируют более 1240 информационных блоков о населенных пунктах с информацией о топонимике, географии, истории размещены на геопортале с привязкой к цифровой карте. На основе материалов региональной ИПД разработано 139 тематических масштабируемых карт различной тематической направленности.

Интернет вещей, совместно с внедрением геопортальных технологий, находит применение во всех отраслях народного хозяйства и предполагает формирование экосистем разного масштаба. На основе технологии Интернета вещей и геопортальных систем может быть выстроена система управления ПСПС. Основу сети Интернета вещей представляют IoT-устройства, консолидированные вокруг головных устройств (шлюзов) и разрабатываемые на основе модульного принципа для достижения высоких показателей модифицируемости и расширяемости.

Заключение

В статье дана характеристика исследования, направленного на решение научной проблемы разработки практико-ориентированных технологий управления территориально-распределенными организационными ПСПС на основе пространственных данных с целью обеспечения условий устойчивого развития регионов. Решение задачи управления организационными ПСПС для обеспечения поддержки процесса принятия управленческих решений в области устойчивого развития должно быть основано на подходе, предполагающем внедрение процессов идентификации, мониторинга и управления рисками в процесс внедрения и развития ИПД.

В процессе интеграции пространственных данных о ПСПС должна решаться

задача синтеза согласующихся и информативных массивов информации о территориально-распределенных подсистемах, хранение которых возможно посредством мультимодельных СУБД. Развитие методов, алгоритмов и моделей автоматизированного анализа геопро пространственных данных возможно на основе совместного привлечения глубокого обучения и геосистемного подхода для эффективного расширения обучающего набора данных, а также построения ансамблей классификаторов. Для консолидации знаний о моделях анализа пространственных данных предложено сформировать репозиторий нейросетевых моделей как основу функционирования системы интеллектуальной поддержки принятия решений.

Развитие геопортальных технологий совместно с Интернетом вещей приводит к формированию эффективного инструмента управления организационными ПСПС на основе получения возможности мониторинга и дистанционного управления распределенными в пространстве территориальными системами народного хозяйства.

Список литературы

1. Черкашин А.К. Метатеоретическое системное моделирование природных и социальных процессов и явлений в неоднородной среде // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1 (13). С. 61–84.
2. Бершадский А.М., Финогеев А.Г., Бождай А.С. Разработка и моделирование гетерогенных инфраструктур для беспроводного информационного обеспечения процессов мониторинга // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 1 (13). С. 36–45.
3. Dragoni N., Giallorenzo S., Lafuente A. Microservices: yesterday, today, and tomorrow // Present and ulterior software engineering. 2017. P. 195–216.
4. Николаев В.А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М.: МГУ, 1978. 62 с.
5. Zhang C., Lu J., Xu P., Chen Y. Unibench: A benchmark for multi-model database management systems. In Performance Evaluation and Benchmarking for the Era of Artificial Intelligence: 10th TPC Technology Conference. 2019. P. 7–23.
6. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
7. Бакланов П.Я. Геосистемный подход в географических исследованиях // Тихоокеанская география. 2020. № 1. P. 7–12.
8. Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V., Radovanovic M.M., Barmin A.N. Improving the Efficiency of Deep Learning Methods in Remote Sensing Data Analysis: Geosystem Approach // IEEE Access. 2020. № 8. P. 179516–179529.
9. Kulawiak M., Dawidowicz A., Pacholczyk M.E. Analysis of server-side and client-side Web-GIS data processing methods on the example of JTS and JSTS using open data from OSM and geportal // Computers & Geosciences. 2019. № 129. P. 26–37.