

На правах рукописи



ЯМАШКИН Станислав Анатольевич

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

**Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах
(технические науки)**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ПЕНЗА – 2024

Работа выполнена на кафедре автоматизированных систем обработки информации и управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

Научный консультант – доктор технических наук, профессор
Бершадский Александр Моисеевич

Официальные оппоненты: **Кравец Алла Григорьевна**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», профессор кафедры
«Системы автоматизированного проектирования
и поискового конструирования»;

Кулагин Владимир Петрович,
доктор технических наук, профессор,
ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ
ВО «Московский технический университет
связи и информатики», профессор кафедры
«Математическая кибернетика
и информационные технологии»;

Львович Яков Евсеевич,
доктор технических наук, профессор,
АНОО ВО «Воронежский институт высоких
технологий», президент

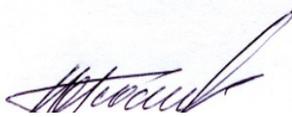
Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Защита состоится 17 октября 2024 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета 24.2.357.03 на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и на сайте: https://dissov.pnzgu.ru/ecspertiza/Tehnicheskie_nauki/yamashkin

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Косников Юрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие технологий интеграции, обработки, анализа и распространения пространственных данных приводит к росту востребованности географической информации при решении задач управления в территориально распределенных организационных системах. Так, важное значение в решении задачи усиления связанности территории Российской Федерации, определенной как приоритетное направление для реализации Стратегии научно-технологического развития РФ (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642), играют процессы внедрения и эффективного использования инфраструктур пространственных данных (ИПД), решающих задачи прогнозирования пространственных процессов, анализа структуры и состояния территориально распределенных природных и социальных систем. Вследствие того, что интегрируемые пространственные данные характеризуются большим объемом и сложностью, значимое место в ИПД занимают методы и алгоритмы автоматизированного интеллектуального анализа, направленные на решение проблемно-ориентированных задач в организационных системах. В Постановлении Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2021 г. № 2148 об утверждении государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных» определена важность осуществления мероприятий, направленных на преодоление проблемы «ограниченного использования современных российских геоинформационных технологий, высокопроизводительной обработки пространственных данных». Предметом анализа в ИПД могут выступать массивы пространственных данных о территориально распределенных системах. Результаты использования пространственных данных применимы в управлении организационными системами, деятельность которых распределена на значительной территории.

Инфраструктуры пространственных данных при этом обеспечивают использование географической информации в организационных системах при решении сложных экономических, социальных и экологических проблем на местном, региональном и национальном уровнях. Позитивный опыт исследований проблемных точек построения цифровых инфраструктур пространственных данных имеется в университетах и научно-исследовательских институтах, в том числе Институте проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Институте географии РАН, Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, Волгоградском государственном техническом университете, Астраханском государственном университете им. В. Н. Татищева, Воронежском институте высоких технологий, Воронежском государственном техническом университете, Казанском федеральном университете, Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК), Санкт-Петербургском горном университете, Самарском государственном аэрокосмическом университете им. С. П. Королева, Пензенском государственном университете, Петрозаводском государственном университете, Институте географии Сербской академии наук и искусств.

Достижение решения задачи разработки новых методов и алгоритмов управления информацией в инфраструктурах пространственных данных должно основываться на междисциплинарных достижениях в области теории управления организационными системами, геоинформатики, наук о Земле, программной инженерии, машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Проведение научных исследований и достижение ключевых результатов диссертационного исследования основано на междисциплинарных научных работах зарубежных, советских и российских ученых в области информатики и наук о Земле: А. М. Бершадского (геоинформационный подход к мониторингу социально-экономических систем), А. С. Бождая (концепция комплексной инфраструктуры территории), К. П. Космачёва (экологическая экспертиза), А. В. Кошкарева (построение геопортальных систем), А. Г. Кравец (согласованное управление социально-экономическими системами), И. Я. Львовича (использование информационных систем в управлении производством), Я. Е. Львовича (многоальтернативная оптимизация систем на основе мониторинговой информации), В. В. Мясникова (обработка цифровых сигналов и данных космического мониторинга), В. А. Николаева (классификация ландшафтов), Д. А. Новикова (управление организационными системами), Д. С. Парыгина (управление развитием урбанизированных территорий), Ю. Г. Пузаченко (разнообразие ландшафта), В. П. Савиных (дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса), Н. А. Солнцева (региональное ландшафтоведение), В. В. Сергеева (технологии решения прикладных задач обработки данных ДЗЗ), В. Б. Сочавы (учение о геосистемах), А. И. Таганова (научные основы идентификации, анализа и мониторинга рисков), А. Г. Чхартишвили (информационное управление в организационных системах), Р. А. Шовенгердта (модели и методы обработки космической съемки), А. А. Ямашкина (анализ природно-социально-производственных систем). В значительной степени научные исследования опираются на достижения ведущих ученых в области вычислительных технологий: А. И. Галушкина (нейрокомпьютерные технологии), Я. Лекуна (глубокое обучение и сверточные нейронные сети).

При разработке практико-ориентированных технологий управления организационными территориально распределенными системами приходится сталкиваться с научной проблемой, основанной на необходимости поиска единого интегрального подхода к поддержке принятия управленческих решений, основанного на комплексном последовательном обеспечении этапов систематизации, анализа и распространения пространственных данных. Решение обозначенной научной проблемы возможно посредством разработки риск-ориентированной концепции внедрения, поддержки и использования ИПД, новых методов и алгоритмов автоматизированного интеллектуального анализа пространственных данных и проблемно-ориентированных геопортальных систем управления природными и социальными системами, как точек доступа к тематическим массивам пространственной информации.

Объект исследования – процесс поддержки принятия решений в области управления территориально распределенными системами на основе пространственных данных.

Предмет исследования – концепции, методы и алгоритмы поддержки принятия решений в области управления территориально распределенными организационными системами на основе пространственных данных.

Цель исследования – разработка концепции, методов и алгоритмов поддержки принятия решений в области управления территориально распределенными организационными системами на основе пространственных данных с целью обеспечения условий устойчивого развития регионов.

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

1. Развитие теоретических основ управления организационными системами на основе анализа пространственных данных о территориально распределенных природных и социальных подсистемах для обеспечения процесса принятия управленческих решений.

2. Разработка мультимодельной системы интеграции пространственных данных о природных и социальных системах с целью формирования согласующихся массивов информации о функционировании территориально распределенных организационных систем для поддержки принятия управленческих решений.

3. Проектирование, разработка и оптимизация новых методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по оптимизации взаимодействия природных и социальных подсистем на основе интерпретации данных дистанционного зондирования с использованием технологий глубокого машинного обучения и геосистемного подхода.

4. Разработка алгоритмического обеспечения проблемно-ориентированных систем управления для решения задачи классификации территориальных систем на основе комплексного анализа синтетических территориальных метрик и вспомогательной пространственной информации посредством ансамблей нейросетевых моделей.

5. Разработка репозитория глубоких нейросетевых моделей для решения задачи анализа пространственных данных в проблемно-ориентированных системах управления с целью решения проектных задач в области обеспечения условий развития территориально распределенных систем на основе методов интеллектуальной поддержки принятия решений.

6. Разработка геопортальной технологии для решения задачи интеграции знаний, визуализации и распространения пространственных данных ИПД как практико-ориентированной технологии управления пространственно распределенными организационными системами.

Последовательная проработка поставленных задач позволила решить **научную проблему** разработки интегрального подхода к поддержке принятия управленческих решений в организационных территориально распределенных системах, основанного на комплексном последовательном обеспечении этапов систематизации, анализа и распространения пространственных данных. В ходе проведения диссертационного исследования получены **новые научно обоснованные решения** в области обеспечения поддержки принятия

управленческих решений в организационных территориально распределенных системах на основе пространственных данных, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Разработка теории в области обеспечения интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных территориально распределенных системах выстраивается на основе совместного использования новой риск-ориентированной концепции внедрения и развития ИПД, алгоритмов подготовки и анализа пространственных данных на основе геосистемного подхода, платформенном решении для развертывания геопорталов и мультимодельном подходе к интеграции пространственных данных.

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационного исследования использованы методы управления организационными системами, машинного обучения, проектирования автоматизированных систем управления. При разработке комплексов программ и информационных систем использованы методы программной инженерии, проектирования баз данных, объектно-ориентированного проектирования и программирования, анализа пользовательского опыта при проектировании графических интерфейсов.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки):

– пункту 1 «Разработка теоретических основ управления в организационных системах» (разработана концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД для решения задач управления организационными территориально распределенными системами на основе процессов планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками (глава 1));

– пункту 4 «Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах» (разработаны мультимодельная система интеграции пространственных данных в инфраструктуре пространственных данных (глава 2) и репозиторий глубоких нейросетевых моделей (глава 5) для обеспечения процесса поддержки принятия решений при управлении организационными территориально распределенными системами);

– пункту 9 «Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах» (разработаны средства интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений на основе интерпретации пространственных данных посредством глубоких нейросетевых моделей (глава 3) и ансамблей классификаторов (глава 4));

– пункту 11 «Разработка практико-ориентированных технологий управления организационными системами» (разработан геопортальный каркас для эффективного развертывания геопорталов для поддержки принятия решений в процессе мониторинга и управления организационными территориально распределенными системами (глава 6)).

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

1. Предложена концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, *отличающаяся* интеграцией процессов планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками в процесс итерационного развития инфраструктуры; *позволяющая* повысить эффективность решения задач информационного управления в территориально распределенных организационных системах.

2. Разработана мультимодельная система интеграции пространственных данных об организационных территориально распределенных системах, *отличающаяся* комбинированным использованием систем управления базами данных различного класса на основе микросервисного подхода для манипулирования знаниями о геосистемах, *позволяющая* решить задачу консолидации разнородных пространственных данных в территориально распределенных организационных системах.

3. Предложен метод поддержки принятия управленческих решений на основе интерпретации данных ДЗЗ с использованием глубокого машинного обучения, *отличающийся* способом анализа разномасштабных изображений территории посредством новой архитектурной организации глубокой нейросетевой модели, основанном на применении геосистемного подхода к подготовке и расширению массивов пространственных данных; *позволяющий* повысить точность решения задач классификации и интерпретации данных об организационных территориально распределенных системах.

4. Разработано алгоритмическое обеспечение проблемно-ориентированных систем управления пространственными данными, основанное на решении задачи классификации пространственной информации с использованием ансамблей неглубоких нейросетевых моделей; *отличающееся* наличием алгоритма предварительной подготовки и снижения размерности пространственных данных посредством расчета территориальных метрик, а также новым способом объединения моделей машинного обучения в ансамбли посредством расчета весовых коэффициентов классификаторов на основе матриц ошибок; *позволяющее* повысить устойчивость систем классификации к проблеме переобучения и снизить требования к объему размеченных наборов данных и мощности используемого аппаратного обеспечения.

5. Разработан и реализован в виде комплекса программ репозиторий глубоких нейросетевых моделей анализа пространственных данных, *отличающийся* использованием модели данных, в рамках которой глубокие нейронные сети хранятся связано с реестрами проектных задач и анализируемых пространственных данных, новым графическим языком проектирования моделей с возможностью их трансляции в программный код, информационной системой подбора модели; *позволяющий* решить задачу накопления моделей машинного обучения в проблемно-ориентированных системах управления организационными территориально распределенными системами для эффективного решения проектных задач в области обеспечения условий устойчивого развития регионов.

6. Разработана и реализована в виде программного каркаса практико-ориентированная геопортальная технология управления пространственно распределенными организационными системами, *отличающаяся* новой модульной организацией компонентов и комплексным подходом к решению задач мониторинга, удаленного управления и аналитики; *позволяющая* обеспечить эффективное развертывание веб-ориентированных геоинформационных систем для визуализации и распространения пространственных данных об организационных территориально распределенных системах.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории в области обеспечения интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в территориально распределенных организационных системах. Предложенные теоретические положения опираются на новую концепцию внедрения и развития ИПД, базирующуюся на риск-ориентированном подходе; использование алгоритмов подготовки и анализа пространственных данных на основе геосистемного подхода; платформенное решение для развертывания геопорталов и мультимодельный подход к интеграции пространственных данных.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что разработанные алгоритмы и программные решения в области интеграции, анализа, визуализации и распространения пространственных данных позволяют решать задачи управления и мониторинга состояния организационных территориально распределенных систем различного назначения. Научные и практические результаты диссертационного исследования внедрены в следующих учреждениях и организациях.

1. Институт географии «Йован Цвийич» Сербской академии наук и искусств – результаты использованы в рамках совместных научно-исследовательских и проектных работ по разработке и практическому использованию новых алгоритмов анализа пространственных данных для обеспечения поддержки принятия управленческих решений, выполненных при поддержке Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия (Грант III 47007).

2. ФГБУ «Астраханский государственный заповедник» – предложенные решения использованы при решении задачи анализа ландшафтного разнообразия для принятия управленческих решений.

3. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет» – предложенные методы и алгоритмы анализа и визуализации пространственных данных использованы при разработке цифрового атласа Астраханской области.

4. Главное управление МЧС России по Республике Мордовия – способ интерпретации данных ДЗЗ и данные о природных и социальных системах Мордовии использованы при решении задач анализа пространственной информации для поддержки принятия решений.

5. Отделение Русского географического общества в Республике Мордовия – каркас на основе новой архитектуры геопортальной системы использован при разработке геопортала «Природное и культурное наследие Республики Мордовия».

6. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» – результаты научно-исследовательских работ используются при подготовке студентов по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника».

На защиту выносятся следующие положения.

1. Концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, основанная на интеграции процессов планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками в процесс итерационного развития инфраструктуры.

2. Мультимодельная система интеграции пространственных данных об организационных территориально распределенных системах, *основанная на* комбинированном использовании систем управления базами данных различного класса с применением микросервисного подхода для манипулирования знаниями о геосистемах.

3. Метод поддержки принятия решений на основе интерпретации данных ДЗЗ с использованием глубокого машинного обучения, *отличающийся* способом анализа разномасштабных изображений геосистемной модели территории посредством новой архитектурной организации глубокой нейросетевой модели.

4. Алгоритмическое обеспечение проблемно-ориентированных систем управления пространственными данными, основанное на решении задачи классификации пространственной информации с использованием ансамблей неглубоких нейросетевых моделей, включающее алгоритм предварительной подготовки и снижения размерности пространственных данных посредством расчета территориальных метрик, а также новым способом объединения моделей машинного обучения в ансамбли.

5. Репозиторий глубоких нейросетевых моделей анализа пространственных данных, отличающийся использованием модели данных, в рамках которой глубокие нейронные сети хранятся связано с реестрами проектных задач и анализируемых пространственных данных, новым графическим языком проектирования моделей с возможностью их трансляции в программный код, информационной системой подбора модели.

6. Практико-ориентированная геопортальная технология управления пространственно распределенными организационными системами, *позволяющая* обеспечить эффективное развертывание веб-ориентированных геоинформационных систем для визуализации и распространения пространственных данных об организационных территориально распределенных системах.

Достоверность научных результатов. Представленные в диссертации научные положения, теоретические выводы и практические рекомендации подтверждаются внедрением результатов исследования в организационные системы и апробацией результатов на конференциях различного уровня.

Личный вклад автора. Все научные результаты, представленные в диссертации, принадлежат лично автору. Участие соавторов заключалось в методических консультациях и выполнении совместных научно-исследовательских работ по грантам РФФИ, РНФ, РГО, ФСИ в области оптимизации

функционирования и управления организационными территориально распределенными системами.

Апробация работы. Положения диссертации апробированы на всероссийских и международных конференциях: Шестнадцатой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD-2023) (Москва, Россия, 2023); VI и VII Международных конференциях «Информационные технологии и технические средства управления» (ICST-2022 и ICST-2023) (Астрахань, Россия, 2022 и 2023); V Международной научной конференции по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2023) (Санкт-Петербург, Россия, 2023); Международных конференциях «InterCarto. InterGIS» (Тбилиси, Грузия, 2020; Майкоп, Россия, 2022; Улан-Удэ, Россия, 2023); XI Всероссийской научной конференции «Системный синтез и прикладная синергетика» (Ростов-на-Дону, Россия, 2022); XI Всероссийской научной конференции «Системный синтез и прикладная синергетика» (Нижний Архыз, Россия, 2022); Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (Челябинск, Россия, 2021); 5, 6 и 7 Computational Methods in Systems and Software (Всетин, Чехия, 2021, 2022 и 2023); 1st Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories, IFT 2020 (Екатеринбург, Россия, 2020); IX Международном научном форуме молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников (Астрахань, Россия, 2020); XIV Международной научно-практической конференции «Наука и образование XXI века» (Рязань, Россия, 2020); XVIII Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России» (Пенза, Россия, 2020); IX Международной научной конференции «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности» (Казань, Россия, 2020); IV Всероссийской научно-технической конференции «Геоэнергетика-2019» (Грозный, Россия, 2019); Международной научно-практической конференции «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы» (Воронеж, Россия, 2019); Международной научно-практической конференции «Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития» (Минск, Белоруссия, 2019); XI Международной научной конференции «Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство» (Казань, Россия, 2019); Международной научно-практической конференции «Теория и практика гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных систем региона» (Саранск, Россия, 2017).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 122 научные работы, в том числе 54 статьи в изданиях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ (из них 22 – по специальностям 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки), 05.13.10. Управление в социальных и экономических системах (технические науки) и 32 – в области применения результатов исследования), 38 статей в изданиях, индексируемых реферативными базами данных и системами цитирования Web of Science или Scopus (в том числе в изданиях 1 и 2 квартилей),

12 докладов на международных, всероссийских и региональных конференциях. Получены 1 патент на изобретение, 17 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ и баз данных. По теме диссертации изданы 2 коллективные монографии.

Поддержка проведения диссертационного исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке ведущих российских научных и общественных фондов и организаций в ходе исполнения и руководства научно-исследовательскими работами (НИР) по грантам: РФФИ № 22-27-00651 (тема научного исследования: «Цифровые инфраструктуры пространственных данных и модели метагеосистем территорий для устойчивого развития регионов»); РФФИ № 20-37-70055 (тема научного исследования: «Интеграция знаний в цифровых инфраструктурах пространственных данных для принятия управленческих решений в области устойчивого развития»); Президента Российской Федерации № МК-199.2021.1.6 (тема научного исследования: «Разработка репозитория глубоких нейросетевых моделей для анализа и прогнозирования развития пространственных процессов»); РГО – договор № 01/2014-ДП2 (тема научного исследования: «Создание геопортала "Республика Мордовия"»), договор № 38/2016-Р (тема научного исследования: «Серия карт РГО "Природное и культурное наследие Республики Мордовия"»), договор № 42/2020-Р (тема научного исследования: «Проведение всероссийского чемпионата по географии среди школьников "Мое Отечество – Россия"»), договор № 04/2022-Р (тема научного исследования: «Интерактивная карта "Природное и культурное наследие Мордовии. Путешествуем с Русским географическим обществом"»); Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программам молодежных научно-инновационных конкурсов УМНИК по договору № 8562ГУ/2015 (тема научного исследования: «Разработка автоматизированной системы анализа данных ДЗЗ для мониторинга состояния земель и прогнозирования стихийных природных процессов») и СТАРТ по договору № 310ГС1ЦТС10-D5/80245 (тема научного исследования: «Разработка прототипа геопортальной программной платформы для управления пространственно-распределенными ресурсами»); Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы социально-экономического развития РМ на 2022–2026 годы (тема научного исследования: «Создание лаборатории искусственного интеллекта»); ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», конкурс внутривузовских научных грантов в области гуманитарных, естественных и инженерно-технических наук 2023 года (тема научного исследования: «Разработка системы дистанционного мониторинга и управления пространственно-распределенными объектами на основе концепции Интернета вещей с применением технологии LoRa сетей»). В ходе научного руководства междисциплинарными НИР по грантам РФФИ № 20-37-70055 и Президента Российской Федерации № МК-199.2021.1.6 были поставлены проектные задачи, в процессе решения которых молодыми учеными-исполнителями В. В. Занозиным и О. А. Зарубиным были написаны и защищены диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Результаты работы над диссертацией представлены на конкурсах и отмечены наградами: диплом лауреата Огаревской премии за научную

разработку «Геопортал Русского географического общества в Республике Мордовия» (2016), дипломы «Преподаватель года» (2018) и «Доцент года» (2023) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», диплом победителя Республиканского конкурса научных работ и инновационных идей с проектом «Разработка цифровой инфраструктуры пространственных данных для обеспечения информационной поддержки устойчивого развития Республики Мордовия посредством геопортальных систем» (2019), диплом II степени за учебное пособие «Методология и современные геоматические методы в области анализа, визуализации и распространения пространственных данных» (2019), диплом победителя второго этапа Международного конкурса World AI&Data Challenge Агентства стратегических инициатив по продвижению новых проектов за цифровое решение «Прогнозирование уровней воды в период весеннего половодья» (2020), диплом призера (3-е место) третьего этапа этого же конкурса (2021), диплом Российской академии естественных наук в рамках Международной экологической премии «Экомир» (2024). Научные достижения, полученные в ходе работы над диссертацией, отмечены почетной грамотой Министерства промышленности, науки и новых технологий Республики Мордовия (2020), благодарностью правительства Республики Мордовия (2022), именной стипендией Русского географического общества (2022), благодарностью главы Республики Мордовия (2024).

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка, включающего 264 наименования, приложений. Текст изложен на 264 страницах, содержит 56 рисунков и 10 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность профессорам А. М. Бершадскому, А. А. Ямашкину и С. А. Федосину за неоценимую поддержку при проведении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель и задачи диссертации, определяются научная новизна и перечень положений, выносимых на защиту, выделяется теоретическая и практическая значимость работы, характеризуется ее структура.

В первой главе проведен анализ международного опыта в области разработки концепций, методов и алгоритмов управления организационными территориально распределенными системами на основе пространственных данных для принятия управленческих решений. Предложена концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, отличающаяся интеграцией процессов планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками в процесс итерационного развития инфраструктуры, позволяющая повысить эффективность решения задач управления в территориально распределенных организационных системах. Природные и социальные подсистемы как компонент территориально распределенных систем представляют собой объект управления в организационных системах, деятельность которых выстроена вокруг мониторинга природных, природно-техногенных, социальных процессов

и использования пространственно распределенных ресурсов. Базовым инструментом управления природными и социальными системами становятся геоинформационные системы, выполняющие функции интеграции и распространения больших объемов пространственных данных о территориально распределенных организационных системах.

Аппаратные, программные, организационные и информационные узлы, реализующие решение задач обмена, трансформация и управление системой мультимодельных пространственных данных формируют ИПД организационных систем. Доступ к пространственным данным и их распространение осуществляется посредством геопортальных систем. 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 задачи дистанционного мониторинга и управления природными и социальными системами. Одновременно с тем, что спектр задач, решаемых в процессе управления организационными территориально распределенными системами, может серьезно отличаться в различных организационных системах, целесообразно выделить и набор вариантов использования, являющихся общими для подавляющего числа внедряемых систем. Из данного утверждения следует необходимость 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 системах различного назначения и масштаба.

Концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД представляет способ организации и понимания процесса поддержки принятия управленческих решений в организационных территориально распределенных системах на основе пространственных данных. В рамках нее предлагается интегрировать процесс планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками в процесс итерационной разработки геопортальных систем в форме входного этапа к анализу требований (рисунок 1). Степень причинно-следственной связи возникновения рисков событий можно



Рисунок 1 – Интеграция процесса управления рисками

определить как вероятность появления одного риска как последствия другого на определенном этапе функционирования территориально распределенных систем.

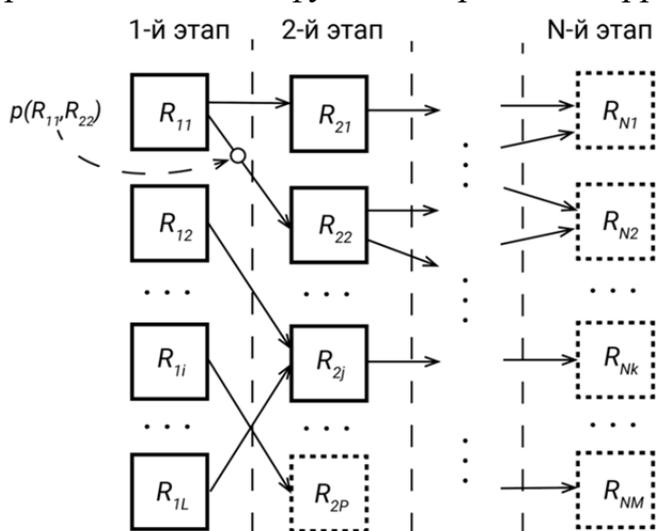


Рисунок 2 – Граф причинно-следственных связей между рисками

Система причинно-следственных связей возникновения рисков событий может быть структурирована в виде графа (рисунок 2). На стадии идентификации рисков события могут быть сегментированы по этапам, которые могут как иметь привязку ко времени, так и определяться на основе иерархических моделей, от общего к частному.

При этом каждая новая версия ИПД становится инструментом мониторинга и управления рисками в организационных

системах, деятельность которых направлена на оптимальное использование природных и социальных систем. Решение задачи идентификации, анализа и мониторинга рисков должно рассматриваться в плоскости оценки влияния негативных и позитивных рисков событий на критерии эффективности ИПД в области управления организационными территориально распределенными системами с учетом наличия зависимостей между возникновением рисков.

На рисунке 2 объектами с прерывистой линией обозначены терминальные элементы, рисковые события, непосредственно влияющие на показатели эффективности управления организационными территориально распределенными системами и не являющиеся причиной возникновения значимых рисков следующего уровня иерархии. Сплошной линией очерчены вершины графа причинно-следственных связей, имеющие потомков и представляющие собой рисковые события, способные как непосредственно влиять на критерии эффективности, так и становиться причиной возникновения новых рисков.

Каждое ребро графа, связывающее две вершины дерева причинно-следственных связей характеризуется весом $r(R_i, R_j)$, вероятность появления одного риска как последствия другого. Управляя риском R_i , минимизируя негативные последствия его возникновения в организационных территориально распределенных системах, можно избежать или снизить вероятность появления риска R_j . При этом эффективное решение задачи управления корневыми рисками минимизирует потенциальное негативное влияние всех рисков системы.

Определение силы P_{R_i} -го риска происходит по формуле

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

где M_{R_i} – мера влияния i -го риска на критерии эффективности управления территориально распределенными организационными системами; (R_i, R_j) – оценка

вероятности появления i -го риска как последствия j -го риска; P_{R_j} – сила j -го риска, представляющего собой следствие i -го риска.

При условии оценки силы терминальных рисков, не имеющих потомков, представленная выше формула сведется к равенству силы риска и меры его непосредственного влияния. Сила же рисков событий, отображаемых в виде корневых элементов графа причинно-следственных связей, может быть рассчитана рекурсивно, начиная с терминальных элементов. Результаты оценки силы рисков событий позволяют подойти к решению задачи формирования квазиоптимальной совокупности контролируемых рисков управления организационными территориально распределенными системами. Для решения этой задачи модель характеристик эффективности управления территориальными системами может быть представлена в виде дерева, корневой узел которого определяет некий обобщенный критерий эффективности, определяющий основную цель внедрения ИПД.

Второй уровень иерархии показателей эффективности управления определяет вариант системной группировки параметров, диктуемый особенностями решаемой задачи. В качестве базового подхода предлагается сегментировать показатели по направлению функционирования территориальных систем безопасности: защите от угроз гуманитарного, природного (естественного), техногенного характеров. Элементы третьего и последующих уровней определяют структурированную систему показателей эффективности управления организационными территориально распределенными системами.

Построение квазиоптимальной совокупности контролируемых рисков управления целесообразно начать с определения степеней влияния дочерних показателей эффективности на обобщенный родительский критерий с последующим ранжированием элементов и выделением значимой совокупности. Следующим шагом становится формирование системы экспертных оценок степени и характера влияния последствий возникновения потенциальных рисков на показатели эффективности процесса управления организационными территориально распределенными системами.

Концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, отличающаяся интеграцией процессов планирования, идентификации, анализа, мониторинга и управления рисками в процесс итерационного развития инфраструктуры, обеспечивает решение научной проблемы формирования единого интегрального подхода к поддержке принятия управленческих решений, основанного на комплексном последовательном обеспечении этапов систематизации, анализа и распространения пространственных данных. Важной особенностью концепции проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, нацеленной на обеспечение поддержки принятия решений в области управления территориальными системами, является необходимость в ориентации на гибкую организацию процесса разработки информационных систем. Данное положение обеспечивает минимизацию рисков посредством сведения цепочки процессов проектирования, разработки и внедрения ИПД

к серии коротких циклов (итераций), артефактом каждого из которых становится пусть ограниченное с точки зрения функционала и качества, но тем не менее завершенное программно-аппаратное решение. Важной его особенностью должна быть ориентация на решение прикладных задач в области минимизации рисков, связанных с управлением организационными территориально распределенными системами. С каждой новой итерацией при этом реализуется возможность развития функциональных возможностей ИПД, усиление ее качественных характеристик (надежность, отказоустойчивость, эргономичность), а главное – более точного и своевременного мониторинга и управления организационными территориально распределенными системами. Следование процессу итерационной гибкой разработки позволяет, в отличие от применения водопадной модели жизненного цикла, снизить риски резкого повышения ресурсоемкости внедрения новых (в том числе потенциально ненужных) технологий управления организационными территориально распределенными системами.

Во второй главе описана разработка мультимодельной системы интеграции пространственных данных об организационных территориально распределенных системах, отличающаяся комбинированным использованием систем управления базами данных различного класса на основе микросервисного подхода для манипулирования знаниями о геосистемах, позволяющая решить задачу консолидации разнородных пространственных данных в территориально распределенных организационных системах. Предложен подход к интеграции пространственных данных для синтеза согласующихся и информативных массивов информации, отличающийся применением геосистемного подхода к решению задачи систематизации территориальных данных для принятия управленческих решений и мультимодельной парадигмой к организации системы управления пространственно-временными данными, позволяющая обеспечить возможность оптимальной консолидации разнородной пространственной информации в ИПД.

Стратегическая цель развития ИПД заключается в формировании системного инструмента, позволяющего моделировать структуру и динамику природных и социальных систем, особенности их взаимодействия, проводить оценку эколого-социально-экономических процессов, прогнозировать развитие природно-техногенных чрезвычайных ситуаций в географической оболочке. Теоретико-множественный подход к анализу системных свойств элементов и их связей проблемно-ориентированных ИПД определяет необходимость формирования слабо зацепленных за счет интерфейсов микросервисных компонентов следующих контекстов: подсистем хранения пространственных данных, модулей автоматизированного анализа, визуализации и распространения пространственных данных (в виде геопортальных систем). Для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных выработаны критерии эффективности ИПД, формируемые на основе набора целевых эффектов системы, показателей ресурсоемкости, параметров сложности процессов построения модификации и практического использования.

Целесообразно выделить следующие уровни интеграции и использования данных: базовых пространственно-временных данных; пространственных моделей; принятия решений (обеспечивающий использование пространственных данных в процессе управления). Для структуризации информации о территориальных системах целесообразно применение генетического, исторического, территориально-структурного принципов. Структурно-функциональные элементы природных и социальных систем имеют взаимоотношения по типу «объект – субъект». Структуризация территориально распределенных систем позволяет провести их упорядочивание с выделением иерархии природных таксономических единиц (систем, классов, групп, типов, родов и видов) и социально-экономических уровней.

Проблему интеграции, хранения и обработки больших массивов пространственных данных в ИПД могут решить мультимодельные хранилища, гибридные базы данных, основанные на функциональных возможностях систем управления базами данных (СУБД) разных классов (реляционные, резидентные, документные, граф-ориентированные, колоночные, хранилища временных рядов). Отдельное место занимает проблема формирования репозитория алгоритмов анализа пространственных данных. Следствием использования мультимодельных хранилищ является усиление качественных характеристик цифровой ИПД – гибкое масштабирование хранилища по мере необходимости, повышение надежности и отказоустойчивости. Разрабатываемые и внедряемые на основе обозначенных принципов SOLID 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 должна 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. 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.

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. Для обеспечения эффективной информационной поддержки дистанционных измерений целесообразно сформировать систему тестовых полигонов, которая должна характеризоваться структурным разнообразием, высокой изученностью, стандартизированной задокументированностью. Использование системы тестовых полигонов

позволяет обосновать оптимальное решение в области обучения представлениям пространственных данных о геосистемах, направленного на изучение абстрактных и полезных представлений, позволяющих автоматически обнаружить представления, необходимые для выявления иерархических признаков. Тестовые полигоны необходимо использовать для калибровки процесса обучения глубоких нейросетевых моделей.

В ИПД для оценки процессов функционирования организационных территориально распределенных систем целесообразно выделить следующие уровни интеграции и использования данных: базовых пространственно-временных данных; пространственных моделей (предполагающий систематизацию данных модулям природных, социальных, экономических, геоэкологических систем); принятия управленческих решений (обеспечивающий проектно-ориентированное использование данных для организации процессов пространственного прогнозирования (рисунок 3).



Рисунок 3 – Модель интеграции геопропространственной информации в ИПД

К стратегическим направлениям, определяющим форму структуризации информации о территориальных системах, целесообразно отнести генетический, исторический и территориально-структурный принципы. В структурно-

функциональном отношении территориальные системы могут быть дифференцированы на пять блоков в зависимости от принципиального строения процесса взаимоотношения природы, человека и общества: природа, производство, общественная инфраструктура, воспроизводство населения, воспроизводство природных условий. При объединении территориальных систем, содержащих относящиеся к природе виды деятельности человека, получаем интегральную территориальную систему природопользования. В качестве вспомогательных подходов к структуризации отдельных составных частей природных и социальных систем следует выделить еще два: ресурсно-компонентный и отраслевой.

Комплексный подход к структуризации геосистем позволяет провести их внутреннее деление на составные части, т.е. осуществить районирование, а также определить характер внешних связей и отношений геосистем со своим окружением. Наиболее распространенная типологическая классификация природных геосистем была предложена В. А. Николаевым и предполагает выделение иерархии таксономических единиц: систем, классов, групп, типов, родов и видов.

Можно выделить восемь основных иерархических уровней социально-экономической структуризации территории: локальный, местный, муниципальный, областной, региональный, макрорегиональный, субпланетарный, глобальный. Территориальные системы основных уровней дифференциации являются полнокомпонентными географическими образованиями, т.е. их необходимо рассматривать в качестве носителей как материальных, так и духовно-интеллектуальных связей и отношений между входящими в эти природные и социальные системы составными частями.

Эффективность анализа данных о территориальных системах возрастает благодаря использованию хранилища информации, в котором консолидируются разнообразные данные, полученные из разных источников. Ни одна отдельная парадигма организации хранилища пространственно-временной информации в системе цифровых ИПД не может предоставить ключ к решению всех задач вследствие необходимости различных представлений для разных типов пространственно-временных данных. Проблему интеграции, хранения и обработки больших массивов пространственно-временной информации в цифровых ИПД могут решить мультимодельные хранилища, гибридные базы данных, основанные на функциональных возможностях СУБД разных классов (реляционные, резидентные, документные, граф-ориентированные, колоночные, хранилища временных рядов). Отдельное место занимает проблема интеграции моделей анализа пространственных данных в единую систему в рамках ИПД, решаемая посредством внедрения репозиторий алгоритмов и моделей машинного обучения). Следствием использования мультимодельных хранилищ является усиление качественных характеристик цифровой ИПД – гибкое масштабирование хранилища, повышение надежности и отказоустойчивости.

В третьей главе предложен метод поддержки принятия управленческих решений на основе интерпретации данных ДЗЗ с использованием глубокого машинного обучения, отличающийся способом анализа разномасштабных изображений территории посредством новой архитектурной организации глубокой нейросетевой модели, основанном на применении геосистемного подхода к подготовке и расширению массивов пространственных данных, позволяющий повысить точность решения задач классификации и интерпретации данных об организационных территориально распределенных системах.

Решение задач управления позитивными и негативными рисками в природных и социальных системах различного масштаба в значительной степени основывается на использовании данных дистанционного зондирования, являющихся важнейшим источником информации, позволяющим получать достоверные и оперативные знания об организационных системах значительного территориального охвата. В данном контексте актуально использование методов ландшафтной индикации, позволяющих анализировать структуру и состояние территориально распределенных систем, их компонентов и протекающих в них процессов по данным дистанционного зондирования для ускорения и удешевления процесса мониторинга состояния организационных территориально распределенных систем. Особенности процесса природной индикации в серьезной мере зависят от решаемой задачи управления, исходя из которой определяется набор индикаторов, которые целесообразно подвергнуть анализу.

Ключевая идея подхода к поддержке принятия управленческих решений на основе анализа геопространственных данных с помощью глубокого обучения заключается в использовании геосистемного подхода для эффективного расширения обучающего набора данных и разработки глубокой модели GeoSystemNet, способной эффективно эти данные анализировать. Представленный подход приобретает основные преимущества в условиях дефицита геопространственных обучающих данных. Это также позволяет приблизиться к точности более глубоких моделей за счет анализа автоматически консолидируемой информации об управляемых организационных территориально распределенных системах.

Рисунок 4 иллюстрирует декомпозицию описанной модели. Блок Unit L_x, извлекающий иерархические признаки F_{xi} разных уровней $i = \overline{1, N}$ из исходного изображения L_x, вводится в начальное выделение признаков на основе данных каждого входа $L_x \in \langle L_0, \dots, L_i, \dots, L_s \rangle$. Блок Unit L_x декомпозируется на N блоков извлечения данных, каждый из которых имеет внешний выход. Структура каждого блока представляет собой цепочку слоев. Первый слой, выполняющий операцию делимой по глубине двумерной свертки, позволяет извлекать признаки из исходного изображения и, в отличие от применения традиционного слоя свертки, позволяет сделать глубокую модель более компактной и, следовательно, устойчивый к переобучению.

Следующим компонентом модели GeoSystemNet является модуль объединения признаков Merge H_N. Он принимает на вход признаки уровня N, извлеченные из изображения классифицируемой области и связанных с ней изображений геосистем.

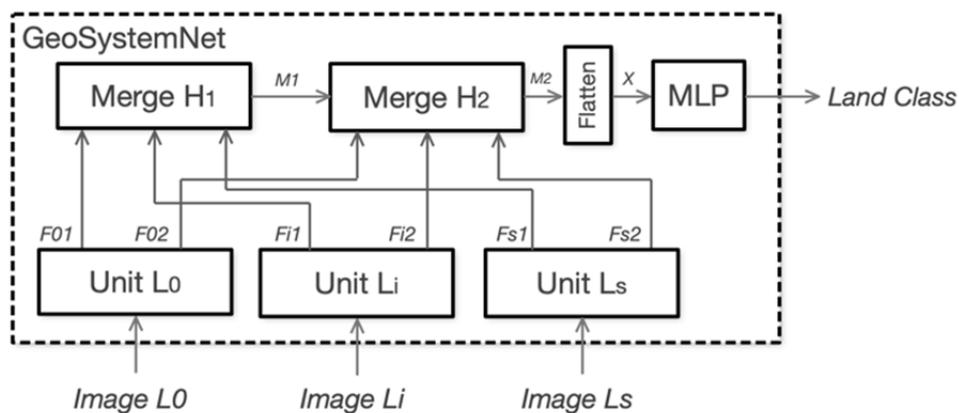


Рисунок 4 – Обобщенная структура модели GeoSystemNet с тремя входами

Модули слияния второго и последующих уровней также получают выходные данные предыдущего модуля слияния. Общее количество модулей слияния признаков равно количеству уровней иерархического выделения признаков в секциях блока Unit L_x .

Все входные данные объединяются в один тензор и обрабатываются конвейером выделения признаков, структура которого аналогична той, что используется в модуле Unit L_x . Он состоит из таких слоев, как разделяемая по глубине двумерная свертка, пакетная нормализация, активация и максимальное объединение для двумерных пространственных данных. Предлагается выбрать большее количество выходных фильтров в свертке для единицы Merge H_N , чем размерность фильтра в процесс выделения признаков на соответствующем уровне N в модуле Unit L_x . Выходные данные модуля слияния признаков преобразуются в вектор с помощью операции выравнивания и вводятся в многослойный персептрон.

Одним из достоинств представленной модели GeoSystemNet является большое количество степеней свободы, допускающее ее гибкую настройку в зависимости от решаемой задачи. Переменные параметры модели включают в себя количество входных данных модели, количество уровней выделения признаков с помощью Unit L_x , мощность и количество модулей слияния признаков Merge H_N и гиперпараметры многослойного персептрона, который принимает результирующее решение. Применение модели GeoSystemNet для классификации наборов пространственных данных, алгоритмически расширенных на основе геосистемного подхода, позволило повысить точность классификации в условиях дефицита обучающих данных на 9 %, а также показать высокую точность классификации при большем объеме обучающих данных (уступающую всего на 3 % по сравнению с другими глубокими моделями). Применение геосистемного подхода к задаче выявления земель, характеризующихся развитием оползневых процессов, с использованием технологий глубокого обучения позволило повысить точность классификации на 5 %.

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. Применение геосистемного подхода в соответствии с методами, представленными в главе диссертации, к задаче повышения эффективности классификации данных ДЗЗ в условиях дефицита данных требует индивидуального подхода к настройке модели и организации ее обучения. Задача выбора источника информации о вмещающих геосистемах имеет большое количество решений – это могут быть как данные ДЗЗ разного масштаба и разрешения, так и разнотипные фрагменты цифровых карт. Необходимо осознавать ответственность при отборе данных по вмещающим геосистемам – неверно принятое решение приведет к ситуации, когда расширенная обучающая выборка скорее дезинформирует модель GeoSystemNet, чем повысит ее эффективность.

В четвертой главе представлена характеристика алгоритмического обеспечения проблемно-ориентированных систем управления пространственными данными, основанного на решении задачи классификации пространственной информации с использованием ансамблей неглубоких нейросетевых моделей, отличающегося наличием алгоритма предварительной подготовки и снижения размерности пространственных данных посредством расчета территориальных метрик, а также новым способом объединения моделей машинного обучения в ансамбли посредством расчета весовых коэффициентов классификаторов на основе матриц ошибок, позволяющего повысить устойчивость систем классификации к проблеме переобучения и снизить требования к объему размеченных наборов данных и мощности используемого аппаратного обеспечения.

Актуальность решения обусловлена тем, что использование классических сверточных нейросетевых моделей, хорошо зарекомендовавших себя при решении задачи классификации территориальных систем, сопряжено с рядом серьезных ограничений: такие модели способны эффективно обучаться на очень больших наборах размеченных пространственных данных, они подвержены проблеме переобучения, характеризуются плохим обобщением информации и слабой интерпретируемостью, а также процессы их использования, обучения и тонкой настройки предъявляют высокие требования к аппаратному обеспечению. В случае невозможности преодоления обозначенных ограничений целесообразно перейти к использованию неглубоких широких полносвязных моделей, обученных на наборе информационных территориальных дескрипторов. Оптимизационный алгоритм построения модели классификации земель и поиска ее гиперпараметров сформирован и апробирован в ходе выполнения проектных работ и включает следующую последовательность этапов:

– Этап L_1 – формирование системы требований к модели: определение входов и выходов, показателей производительности и точности, обеспечивающих достижение возможности принятия обоснованных управленческих решений.

– Этап L_2 – определение базовой архитектуры модели на основе модульного подхода, описывающего общую организацию классификатора, декомпозиция единицы верхнего уровня на линейные или ветвящиеся структуры.

– Этап L_3 – решение проблемы снижения точности классификации и переобучения за счет эвристической конфигурации гиперпараметров глубокой модели и добавления слоев нормализации и регуляризации.

– Этап L_4 – оптимизация модели по принципу «меньшее лучше большего», согласно которому процесс обучения больших моделей требует больших вычислительных ресурсов и, что еще важнее, такие глубокие нейронные сети склонны к переобучению.

– Этап L_5 – обучение модели с тестированием различных мер точности, алгоритмов оптимизации, функций потерь и количества эпох обучения; анализ процесса обучения модели путем расчета зависимости математического ожидания и стандартного отклонения точности классификации от эпохи обучения на основе серии экспериментов.

– Этап L_6 – оценка качества полученного результата путем построения матриц ошибок и расчета метрик точности и ошибочности по результатам функционирования модели; вывод о соответствии полученной модели объективным и субъективным требованиям к ней.

Предлагаемая цепочка действий C_i приводит к получению экземпляра модели M_i с определенными свойствами, при соответствии которых проектным требованиям поиск может быть завершен. Процесс поиска эффективной модели классификации может быть формализован в виде конечного автомата, описываемого графом (рисунок 5), корневой узел S которого предшествует первому этапу алгоритма поиска и соответствует решению задачи постановки задачи исследования.

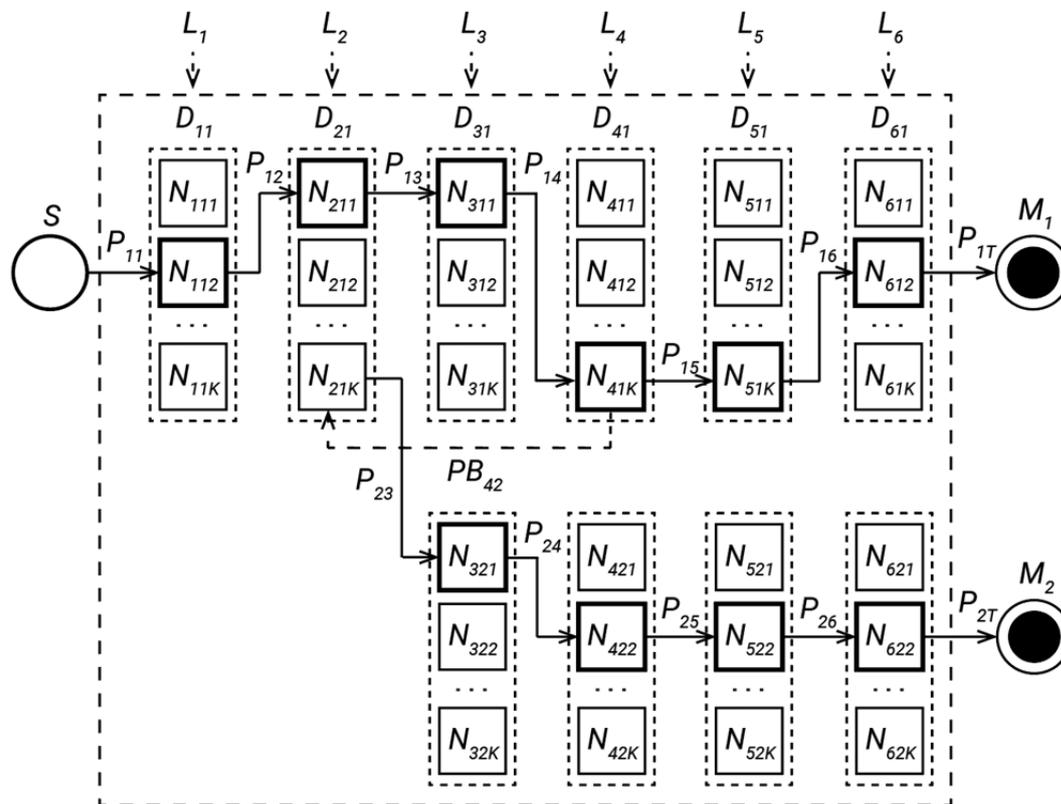


Рисунок 5 – Граф формирования модели классификатора геосистем

На каждом этапе на основании эвристик, паттернов, а также автоматизированных алгоритмов формируется пространство гипотез D_{ij} , в рамках которого осуществляется поиск решения по выбору направления детализации и оптимизации модели. Принятие решения P_{ij} определяет выбор реализации одной из гипотез, при котором осуществляется переход к вершине графа N_{ijk} , определяющих вариант состояния модели M_j на i -м этапе алгоритма поиска эффективной модели.

Если свойства спроектированной и обученной модели на определенном этапе i не соответствуют предъявляемым к ней требованиям, необходимо принять решение $P_{B_{ik}}$ о возвращении на несколько этапов назад в рамках алгоритма построения глубокой модели (вплоть до первого этапа, если сформулированные требования оказались недостижимыми) и осуществить новый поиск в эвристически скорректированном направлении.

Конечные вершины графа соответствуют частному решению задачи поиска оптимальной модели M_i , готовой к использованию. Полученные частные решения могут быть сопоставлены с помощью сплит-тестирования, основанного на сопоставлении объективных численных показателей эффективности модели с субъективной экспертной оценкой качества классификации. Расчет и консолидация территориальных дескрипторов приводят одновременно к двум последствиям: снижению размерности анализируемых данных (положительный эффект) и неизбежной утрате некоторого количества информации об анализируемой территории (отрицательное влияние). Важно найти баланс между двумя обозначенными положениями, с тем чтобы максимально облегчить допустимую емкость модели машинного обучения, повысить ее устойчивость к переобучению, не допустить значительного снижения точности классификации в рамках конкретной решаемой задачи.

Совокупный анализ дескрипторов территории, интегрируемых на основе данных из разных источников, дает существенный прирост точности классификации территориальных систем. В рамках эксперимента, представленного в главе диссертации, учет дескрипторов, рассчитанных на основе данных космической съемки территории (группа $D_{ДЗЗ}$), цифровой модели рельефа (группа $D_{ЦМР}$) и электронной ландшафтной карты (группа $D_{ЛК}$), позволил достичь точности 89 %, что значительно больше этого параметра для сверточной нейросетевой модели. При этом анализ дескрипторов рельефа увеличивает точность на 3 %, а метрик, рассчитанных на основе ландшафтных карт, – на 11 %.

В ходе эксперимента на основе космической съемки территории были рассчитаны следующие дескрипторы группы $D_{ДЗЗ}$: ландшафтные метрики неоднородности, основанные на расчете информационной энтропии территории E и разброса Δ (характеризующего изменение спектральной яркости относительно среднего значения), метрики интенсивности, основанные на вычислении инвариантных к шумам и нежелательным искажениям достоверных и стабильных параметров изображения территории, гистограммы оттенков. На основе анализа цифровой модели рельефа территории были рассчитаны следующие дескрипторы группы $D_{ЦМР}$: метрики крутизны территории,

экспозиции склонов, статистические характеристики (минимум, максимум, математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение) абсолютных и относительных значений высот ЦМР. Наконец, цифровые ландшафтные карты, генерируемые в региональных и федеральных географических информационных системах, также представляют собой весомый источник информации, позволяющий повысить точность классификации территориальных систем. Несмотря на то, что масштаб таких карт часто меньше масштаба классифицируемых участков, они интегрируют в себе значительное количество информации о вмещающих геосистемах. Получение данных об участке ландшафтной карты может быть осуществлено за счет интеграции модуля подготовки данных с программными API-интерфейсами геоинформационной системы (ГИС) посредством использования атрибутивных сведений о координатах анализируемого участка. В ходе эксперимента дескрипторы группы $D_{ЛК}$ рассчитывались на основе данных региональной ГИС «Мордовия» вычислением метрик, аналогичных тем, что использованы для определения дескрипторов группы $D_{ДЗЗ}$. Важно то, что картограммы представленных дескрипторов, основанных на методиках оценки георазнообразия и расчете морфометрических характеристик, хорошо интерпретируются специалистами в области анализа данных в науках о Земле при решении задачи принятия взвешенных управленческих решений.

К отдельным преимуществам предложенного в диссертации подхода к повышению эффективности моделей машинного обучения при решении задачи классификации земель для обеспечения поддержки принятия управленческих решений относится устойчивость разработанного решения в условиях дефицита размеченных данных, а также возможность повторного использования в рамках исследования новых территориальных систем при условии дообучения и тонкой настройки.

Объединение моделей в ансамбль на основе предложенной архитектуры метаклассификатора позволяет повысить устойчивость анализирующей системы: точность решений, принимаемых ансамблем, имеет тенденцию стремиться к точности наиболее эффективного моноклассификатора системы. Построение эффективных ансамблей может быть основано на моделях относительно небольшой ширины и глубины, что позволяет проектировать высокоточные классификаторы, обучение которых менее требовательно к вычислительным мощностям в сравнении с классическими глубокими моделями. При этом ошибочность системы имеет тенденцию не превышать ошибочность наиболее эффективного классификатора, избегая при этом грубых систематических ошибок, допускаемых отдельными моноклассификаторами. Интеграция классификаторов в ансамбли позволяет подойти также к решению научной проблемы поиска гиперпараметров классификаторов за счет комбинированного использования моделей одного типа с разными конфигурациями.

При классификации территориального объекта X_j моноклассификаторы ансамбля M_i формируют вектор гипотез P_j относительно принадлежности данного объекта определенному классу земель c_k из номенклатуры классов \mathbb{C} мощностью K :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_j = \{f(M_i, X_j): i, j \in \mathbb{N}, i \leq N\}, \\ P_j \in \mathbb{C} = \{c_k: k \in \mathbb{N}, k \leq K\}. \end{array} \right. \quad (2)$$

При этом функция $f_i(X_j) = f(M_i, X_j)$ порождается в процессе обучения моноклассификатора M_i при накоплении опыта решения задачи классификации территориальных систем на основе меры качества P и возвращает набор байесовских вероятностей, определяющих степень уверенности моноклассификатора M_i в истинности факта принадлежности территории X_j классу земель c_k :

$$f_i(X_j) = \{p_{jik}: k \in \mathbb{N}, k \leq K \wedge 0 \leq p_k \leq 1\}. \quad (3)$$

Решение Y_{ij} моноклассификатора M_i о принадлежности определенного территориального объекта X_j конкретному классу территориальной системы может быть вынесено путем выбора класса c_i , для которого рассчитанная байесовская вероятность максимальна:

$$Y_{ij} = \underset{k}{\operatorname{argmax}}_{p_{ik} \in f_i(X_j)} p_{jik}. \quad (4)$$

Результирующая гипотеза Y_E об отнесении территории X_j конкретному классу территориальных систем c_k выносится метаклассификатором MC ансамбля E . В этом случае принятие результирующего решения на основе выходных данных нейросетевых моделей целесообразно принять на основе взвешенного голосования, обобщенное представление которого имеет следующий вид:

$$Y_{Ej} = \underset{k}{\operatorname{argmax}}_{k \in [1, K]} \left(\sum_{i=1}^N \varphi(M_i, k) \cdot \psi(p_{jik}) \right). \quad (5)$$

В данной формуле параметр ω_{ik} – это весовой коэффициент, представляющий собой меру эффективности моноклассификатора M_i в детекции земель класса k . Функция φ определяет преобразование вида $\varphi: M_i \rightarrow \Lambda_{ik}$, при котором весовой коэффициент и мера эффективности Λ_{ik} определяются путем математических преобразований экспериментально полученных данных матрицы ошибок M_i моноклассификатора M_i .

Предлагается следующий алгоритм расчета меры эффективности Λ_{ik} :

1. Построение матрицы ошибок M_i для каждого моноклассификатора M_i системы.

2. Вычисление абсолютных метрик точности для классификатора M_i при определении территориальных систем класса k : попаданий (TP_{ik}), верных отклонений (TN_{ik}), ошибок I (FP_{ik}) и II (FN_{ik}) типов.

3. Расчет относительных метрик \mathcal{R}_{ik} на основе матрицы ошибок M_i , определяющих оценку точности классификации территориальных систем класса k в интервале $[0; 1]$. В качестве метрики \mathcal{R}_{ik} может выступать оценка F_β , при расчете которой учитываются показатели прецизионности (*precision*) и полноты (*recall*), а, следовательно, ошибки I и II типов и число верных попаданий моноклассификатора. Кроме этого, метрика настраивается посредством конфигурирования параметра β , позволяющего расставить акцент влияния точности и полноты на результат:

$$\mathcal{R}_{ik} = F_{i\beta k} = (1 + \beta^2) \cdot \frac{\text{precision}_{ik} \cdot \text{recall}_{ik}}{(\beta^2 \cdot \text{precision}_{ik}) + \text{recall}_{ik}} = \frac{(1 + \beta^2) \cdot TP_{ik}}{(1 + \beta^2) \cdot TP_{ik} + \beta^2 \cdot FN_{ik} + FP_{ik}}. \quad (6)$$

При решении задачи классификации территориальных систем важное значение может быть уделено максимизации метрики верных отклонений. Данное обстоятельство учитывается посредством расчета корреляции Мэтьюса:

$$\mathcal{R}_{ik} = \left| \frac{TP_{ik} \cdot TN_{ik} - FP_{ik} \cdot FN_{ik}}{\sqrt{(TP_{ik} + FP_{ik})(TP_{ik} + FN_{ik})(TN_{ik} + FP_{ik})(TN_{ik} + FN_{ik})}} \right|. \quad (7)$$

При необходимости может быть спроектирована какая-либо иная метрика, удовлетворяющая требованиям построения ансамбля.

4. Деактивация неэффективных классификаторов относительно порогового значения ϵ может быть осуществлена по следующему принципу:

$$\tilde{\mathcal{R}}_{ik} = ((\mathcal{R}_{ik} \geq \epsilon) \rightarrow \frac{\mathcal{R}_{ik} - \epsilon}{1 - \epsilon}), ((\mathcal{R}_{ik} < \epsilon) \rightarrow 0). \quad (8)$$

В результате приведенной условной тернарной операции решаются две задачи: во-первых, значения мер эффективности, которые меньше порога ϵ – обнуляются, убирая неэффективные моноклассификаторы из системы принятия решений; во-вторых, результирующее значение вновь нормируется в интервале $[0; 1]$. При $\epsilon = 0$ реализуется возможность отказа от использования деактивации.

5. Активация метрики, посредством осуществления дополнительного нелинейного нормализованного монотонного преобразования θ метрики $\tilde{\mathcal{R}}_{ik}$:

$$\Lambda_{ik} = \theta(\tilde{\mathcal{R}}_{ik}). \quad (9)$$

Операция активации метрики обеспечивает минимизацию или ускорение роста величины метрики у ее граничных значений. В качестве активационной функции θ может быть взята логистическая кривая. При тождественном отображении $\text{id}_{\tilde{\mathcal{R}}_{ik}}$ реализуется возможность отказа от использования активации. Результирующее значение метрики Λ_{ik} может быть использовано для определения меры эффективности моноклассификатора M_i для осуществления детекции территорий класса k .

Расчет меры голоса моноклассификатора осуществляется на основе вычисления функции ψ и представляет собой преобразование вида $\psi: p_{jik} \rightarrow \mathbb{Q}_{jik}$, при котором байесовская вероятность p_{jik} , определяющая степень уверенности моноклассификатора M_i в истинности факта принадлежности территории X_j классу геосистем s_k , трансформируется в меру голоса \mathbb{Q}_{jik} .

Мера голоса может быть определена по принципу «победитель забирает все», при котором моноклассификатор M_i выставляет 1 наиболее вероятному решению и 0 всем остальным.

При тождественном отображении id_{ψ} при голосовании будут учитываться байесовские вероятности принадлежности территории X_j классу геосистем k . Наконец, может быть осуществлена активация метрики \mathbb{Q}_{jik} посредством осуществления дополнительного нелинейного нормализованного монотонного преобразования $\theta(\mathbb{Q}_{jik})$, обеспечивающего изменение меры голоса у граничных значений.

Использование ансамблей позволяет подойти к решению задачи подготовки данных для обучения моделей за счет интеграции в единую систему моделей, обученных на различных комбинациях обучающих и валидационных выборок для снижения влияния ошибок, возникающих при формировании датасетов. Формирование метаклассификатора по предложенному алгоритму представляет собой возможность добавить элемент предсказуемости и контроля в использование нейросетевых моделей, традиционно представляющих собой «черный ящик». Таким образом обеспечивается повышение интерпретируемости алгоритмов поддержки принятия управленческих решений в организационных системах.

В пятой главе представлен разработанный и реализованный в виде комплекса программ репозиторий глубоких нейросетевых моделей анализа пространственных данных, отличающийся использованием модели данных, в рамках которой глубокие нейронные сети хранятся связанно с реестрами проектных задач и анализируемых пространственных данных, новым графическим языком проектирования моделей с возможностью их трансляции в программный код, информационной системой подбора модели, позволяющей решить задачу накопления моделей машинного обучения в проблемно-ориентированных системах управления организационными территориально распределенными системами для эффективного решения проектных задач в области обеспечения условий устойчивого развития регионов.

Спроектированная архитектура репозитория глубоких нейросетевых моделей и ее программная реализация позволяют подойти к решению задачи интеграции нейронных сетей, предварительно обученных моделей с возможностью их последующего использования для решения задач управления в условиях цифровой экономики. Процесс формирования репозитория глубоких нейронных сетей в цифровой ИПД должен быть основан на проектно-ориентированном подходе, исходя из которого каждая хранимая глубокая искусственная нейронная сеть (ИНС) должна быть сопоставлена со спектром проектных задач управления, в рамках которых она может быть использована. Практическое использование глубоких нейронных сетей, интегрируемых в репозитории, требует декомпозиции онтологической модели хранилища на системообразующие домены: моделей машинного обучения, данных и задач. При этом систематизированные в репозитории глубоких нейронных сетей модели машинного обучения и решаемые проектные задачи опираются на консолидированные наборы данных, при этом ключевая роль отводится пространственным информационным массивам: матричным, векторным, атрибутивным.

Модель глубокой ИНС может быть дифференцирована ее топологией, определяющей наличие в ее структуре слоев определенного типа и связей между ними. Архитектура нейронной сети определяет формат представления входных данных и вид выходного сигнала модели, параметры функционирования и стратегии обучения. Каждой ИНС при этом целесообразно сопоставить метаописание, включающее руководство для прикладного использования модели, ее системную категорию, характеристику решаемых проектных

задач и описание представления анализируемых данных. Интерес представляют предварительно обученные экземпляры, готовые к решению проектных задач, для которых приведены стратегии тонкой настройки.

Использование нейросетевых моделей в решении практических проектных задач в области анализа структуры земель и прогнозирования развития природных и природно-техногенных процессов может быть осуществлено при условии консолидации накапливаемого реестра моделей машинного обучения в единую систему, для взаимодействия с которой организованы графические пользовательские и прикладные программные интерфейсы. С точки зрения программной реализации каркас системы функционирует на базе паттерна MVC, предполагающего декомпозицию фреймворка проекта на контроллеры, модели и виды. Сделан акцент на разработку адаптивных веб-интерфейсов, позволяющих пользоваться репозиторием при помощи компьютера, подключенного к сети Интернет. Для организации хранилища репозитория моделей глубоких нейронных сетей использован комплекс систем управления базами данных, интегрированный в мультимодельное хранилище. Разработка графических интерфейсов репозитория проведена с использованием методов проектирования UI/UX на основе программного стека веб-технологий. 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 (рисунок 6).

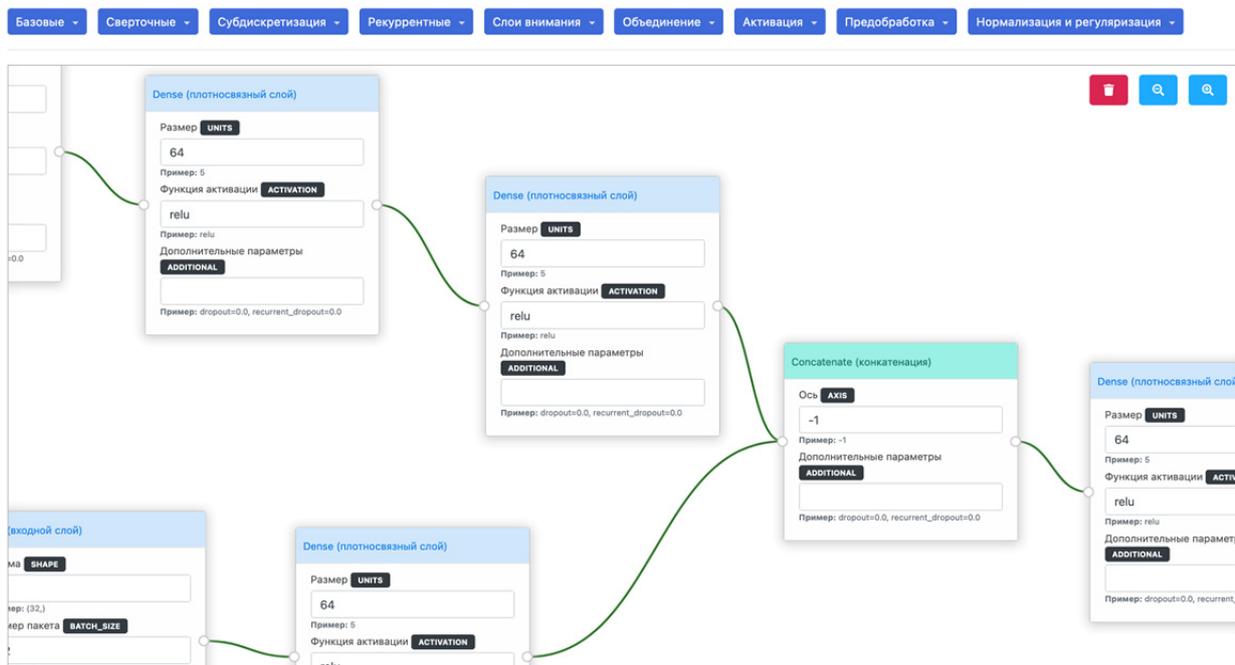


Рисунок 6 – Описание глубоких нейросетевых моделей посредством визуального программирования

Применение методов визуального программирования для описания сложных архитектур нейронных сетей позволяет значительно ускорить процесс их

разработки и уменьшает количество ошибок за счет повышения наглядности. В совокупности с применением блочного подхода методы визуального программирования не только позволят ускорить разработку за счет простой графической взаимозаменяемости логических блоков, но и обеспечат простую переносимость как целых программ, так и отдельных модулей. С целью оптимизации процессов интеграции и практического использования глубоких нейросетевых моделей для принятия управленческих решений была разработана формализованная схема хранения моделей в форме метаязыка, которая делает возможной их конвертацию в представления, используемые современными фреймворками машинного обучения. Представленная формализованная схема хранения нейросетевых моделей в форме метаязыка может быть экспортирована в формате XML или JSON с целью обеспечения дальнейшего использования модели или ее редактирования.

В рамках репозитория нейросетевых моделей для анализа пространственных данных реализована трансляция графического представления моделей в представление на языке Python. Для решения задачи трансляции графического представления нейросетевой модели в программный код ее структура описывается ориентированным ациклическим графом, а ключевым алгоритмом преобразования графического представления модели в инструкции на языке программирования общего назначения является топологическая сортировка. Достичь асимптотической сложности удалось за счет модификации алгоритма с использованием стратегии поиска в глубину с добавлением слоя-вершины в момент выхода из нее с применением рекурсии.

Организация прикладного программного интерфейса реализована на основе концепции REST, позволяющей обеспечить унифицированное межмашинное программное взаимодействие с системой. Разработанные прикладные программные интерфейсы позволяют обеспечить решение таких задач, как автоматизация процесса программного импорта моделей в проекты на языке программирования высокого уровня, экспорт разработанных моделей в систему репозитория на основе унифицированного метаязыка, администрирование ключевых каталогов репозитория: реестра нейросетевых моделей, пространственных данных и проектных задач, а также программное управление ключевыми ролями и правами доступа пользователей системы.

В шестой главе дана характеристика разработанной и реализованной в виде программного каркаса практико-ориентированной геопортальной технологии управления пространственно распределенными организационными системами, отличающейся новой модульной организацией компонентов и комплексным подходом к решению задач мониторинга, удаленного управления и аналитики, позволяющей обеспечить эффективное развертывание веб-ориентированных геоинформационных систем для визуализации и распространения пространственных данных об организационных территориально распределенных системах. Геопорталы представляют собой технологическую основу, реализующую возможность и право граждан, специалистов, управленцев и ученых на получение и распространение пространственной информации,

становятся узловыми компонентами устойчивого эколого-социально-экономического развития регионов. В системе ИПД можно выделить следующие ограничивающие контексты для микросервисов: геопорталы (инструменты визуализации и управления пространственными данными), системы анализа и обработки данных и управления ими, а также распределенные облачные хранилища.

Выделены два направления развития каркаса геопортальной системы. С одной стороны, необходимо придерживаться дедуктивной стратегии, при которой геопортал изначально разрабатывается с целью достижения возможности покрытия решений максимального количества проектных задач. С другой – необходимо максимально эффективно реализовывать индуктивную стратегию, в рамках которой положительно зарекомендовавшие себя улучшения частных конкретных геопорталов становятся основой для развития каркаса системы. Совместное использование дедуктивной и индуктивной стратегий обеспечит эволюционное улучшение каркаса построения геопортальных систем, а также оптимизацию частных решений, разрабатываемых на его основе. Геопортальные системы могут быть развернуты и внедрены на основе различных концепций. С одной стороны, возможно использование конкретного экземпляра системы в рамках определенной организации на базе собственной или арендуемой инфраструктуры. С другой – применение модели «программное обеспечение как услуга», предполагающей предоставление полностью обслуживаемого провайдером проектно-ориентированного геопортального решения, позволяет внедрить и эффективно обслуживать функционирующие геоинформационные системы. Сформирован реестр функциональных и качественных требований, выполнение которых необходимо при проектировании геопортальных решений.

Этот перечень может быть дополнен или декомпозирован при решении конкретных задач. Выделены следующие функциональные требования: наличие картографической основы, реализация возможности комбинированного наложения тематических слоев, наличие удобных инструментов навигации по пространственной базе данных, доступа к атрибутивным характеристикам пространственных объектов, а также возможность получения иной связанной информации.

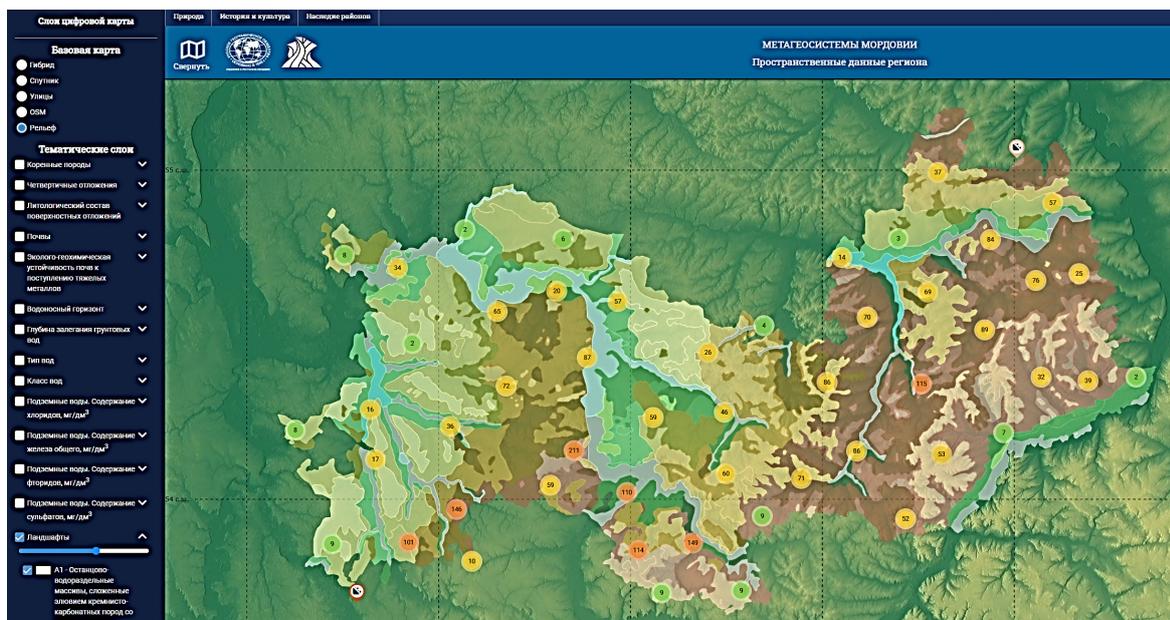
Решение задач дистанционного управления и сбора данных о пространственно распределенных объектах и геосистемах на основе геопортальных систем может быть автоматизировано с применением технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT), позволяющих организовать телекоммуникационную сеть передачи данных между устройствами, взаимодействующими между собой с окружающей средой. Для обеспечения взаимодействия IoT-устройства с подсистемой обработки, анализа и управления данными ИПД использован протокол передачи данных MQTT. Для связи устройств апробировано использование сетей LoRaWAN, позволяющих решить задачу устойчивой передачи данных на длинные расстояния. Внешние IoT-компоненты представляют множество независимых устройств, функционирующих на основе микроконтроллеров и осуществляющих решение задач сбора данных с множества

датчиков, запуска исполнительных устройств 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.

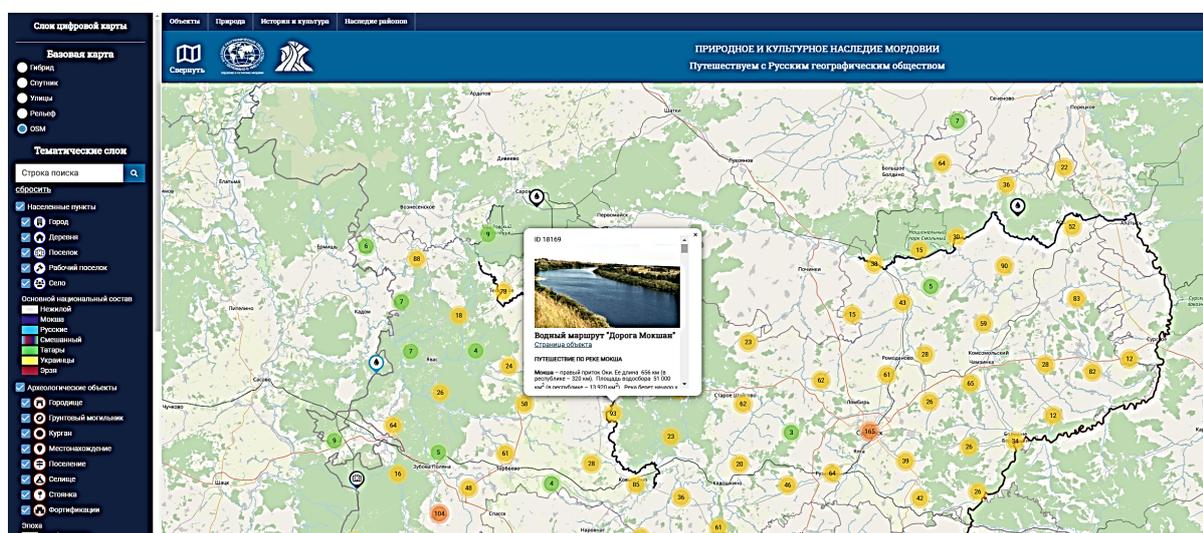
Новый каркас геопортальной системы позволяет посредством быстрого эффективного развертывания геопорталов решить задачу интеграции знаний, визуализации и распространения геосистемной территориальной модели для поддержки процесса принятия управленческих решений в организационных системах, деятельность которых сопряжена со взаимодействием с природными и социальными системами (рисунок 7). В качестве наглядных примеров разной реализации графических пользовательских веб-интерфейсов приведен геопортал «Природное и культурное наследие Мордовии». Показано, что интерфейсы геопортальных систем могут способствовать решению задач различных проблемных областей от распространения сведений о природном и культурном наследии до решения задачи визуализации релевантных новостей.

Данные в рамках проекта 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 электронной карте, 830 объектов культурно-исторического наследия и 95 особо охраняемых природных территорий описаны с пространственной привязкой к цифровой карте региона. На основе материалов региональной ИПД разработано 139 тематических масштабируемых карт различной тематической направленности. Другим примером 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. Геопортал «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» и интерактивная карта «Природное и культурное наследие Республики Мордовия. Путешествуем с Русским географическим обществом» нацелены на решение задачи визуализации цифровых карт для тестового полигона «Мордовия» (расположен между $53^{\circ}38'$ и $55^{\circ}11'$ с. ш., $42^{\circ}11'$ и $46^{\circ}45'$ в. д.). Тематические слои интерактивной карты «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» (рисунок 7,а): цифровые модели рельефа, экзогеодинамические процессы, коренные породы, четвертичные отложения, литологический состав поверхностных отложений, полезные ископаемые и ресурсы, почвы, эколого-геохимическая устойчивость почв, глубина залегания грунтовых вод, реки, ландшафты, полезные ископаемые и ресурсы, потенциально пригодные земли, охотничьи угодья, многоквартирные дома, дорожная сеть.

Пространственная база данных для построения интерактивной карты «Природное и культурное наследие. Путешествуем с Русским географическим обществом» содержит информацию для построения системы карт, раскрывающих туристский потенциал региона (рисунок 7,б).



а)



б)

Рисунок 7 – Геопорталы как инструмент управления природными и социальными системами:

а – «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона»;

б – «Природное и культурное наследие Республики Мордовия»

На цифровой карте портала предоставляется функциональная возможность послойного отображения более чем 2850 объектов природного, исторического и культурного наследия различных тематических категорий: «особо охраняемые природные территории» – памятники природы, заповедник, национальный парк (99 объектов); «археология» – возраст археологических памятников, культура, преемственность (690 объектов); «населенные пункты» – топонимика, время возникновения (первое упоминание), преобладающая национальность, история развития (1260 объектов); «соборы и храмы» – время создания, характеристика объекта наследия (559 объектов); «объекты культуры» – мемориальные памятники, республиканские и краеведческие музеи, этнокультурные центры (87 объектов).

Геопорталы «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» и интерактивная карта «Природное и культурное наследие Республики Мордовия. Путешествуем с Русским географическим обществом» обеспечивают визуализацию системы тематических карт природных и природно-техногенных территориальных комплексов. Графический интерфейс цифровых карт дает возможность комбинированной визуализации тематических слоев и управления видимостью и прозрачностью данных. Разработанные системы позволяют анализировать состояние геосистем различного иерархического уровня на основе совместной обработки информации нескольких тематических слоев для обеспечения процесса поддержки принятия решений.

Использование геопортальной программной платформы для создания геопортала «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» позволило региональному отделению Русского географического общества сократить время разработки на 61 % и снизить стоимость внедрения на 71 % в сравнении с конкурентными программными решениями. В настоящее время проект функционирует для решения задачи управления системами природного и культурного наследия региона. По данным подсистемы аналитики, проект посетило 388,5 тысяч уникальных посетителей. Значительную долю трафика сформировали посетители из всех регионов России, а также Китая, Казахстана, Белоруссии, США, Германии, Финляндии и других стран. По данным подсистемы аналитики, проект интересен людям 25–44 лет (46 %), значительную долю посетителей составляют школьники и студенты (24 %).

В **заключении** сформулированы основные научные результаты, полученные в рамках решения поставленной цели.

В **приложениях** приведены патент, свидетельства на программы для ЭВМ и баз данных, акты внедрения и дипломы, полученные на всероссийских и международных конкурсах, а также реестр информационных блоков данных геопортала «Природное и культурное наследие Республики Мордовия».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертации решена **научная проблема** разработки интегрального подхода к поддержке принятия управленческих решений в организационных территориально распределенных системах, основанного на комплексном последовательном обеспечении этапов систематизации, анализа и распространения пространственных данных, представлены новые научно обоснованные технические решения в области практико-ориентированного применения пространственных данных для обеспечения управления организационными территориально распределенными системами, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. В рамках выполнения диссертационной работы получены следующие результаты.

1. Предложена концепция проектирования, разработки, внедрения и использования ИПД, основанная на риск-ориентированном подходе, при котором процесс управления рисками в территориально распределенных организационных системах должен быть интегрирован в процесс итерационного внедрения и использования ИПД в качестве входного этапа для стадии анализа требований. При этом новые версии инфраструктуры становятся инструментом мониторинга

и управления рисками. Достижимость целевых эффектов внедрения ИПД целесообразно при этом определить через возможность уменьшения влияния негативных рисков и повышения эффективности использования позитивных возможностей природных и социальных систем. Важной особенностью риск-ориентированного подхода по управлению природными и социальными системами является необходимость ориентации на гибкую организацию процесса разработки ИПД, итерационное усиление инфраструктуры посредством соблюдения принципов объектно-ориентированного программирования и проектирования.

2. Разработана мультимодельная система хранения пространственных данных об организационных территориально распределенных системах, отличающаяся комбинированным использованием систем управления базами данных различного класса на основе микросервисного подхода для манипулирования знаниями о геосистемах, позволяющая решить задачу консолидации разнородных пространственных данных в территориально распределенных организационных системах. Предложена модель систематизации данных в мультимодельных хранилищах данных ИПД на основе геосистемного подхода, в рамках которой в качестве важнейшего объекта исследования в ИПД используются геосистемы, описывающие многообразие природных, социальных, экономических процессов и их взаимодействие на локальном, региональном и глобальном уровнях организации географической оболочки. Дана характеристика проекта «Серия настенных карт Русского географического общества "Природное и культурное наследие Республики Мордовия"», который представляет практический пример использования пространственных данных как источника информации для разработки картографической продукции.

3. Предложен метод поддержки принятия управленческих решений на основе интерпретации разномасштабных данных ДЗЗ с использованием глубокого машинного обучения, отличающийся способом анализа разномасштабных изображений территории посредством новой архитектурной организации глубокой нейросетевой модели, основанном на применении геосистемного подхода к подготовке и расширению массивов пространственных данных, позволяющий повысить точность решения задач классификации и интерпретации данных об организационных территориально распределенных системах. Ключевая идея подхода к анализу геопространственных данных заключается в использовании геосистемного подхода для эффективного расширения обучающего набора данных и разработки глубокой модели GeoSystemNet, способной эффективно эти данные анализировать. Представленный подход приобретает основные преимущества в условиях дефицита геопространственных данных при принятии управленческих решений в организационных системах. Применение модели для классификации наборов пространственных данных, алгоритмически расширенных на основе геосистемного подхода, позволило повысить точность классификации в условиях дефицита обучающих данных на 9 %, а также показать высокую точность классификации при большем объеме обучающих данных (уступающую на 3 % по сравнению с другими глубокими моделями).

4. Разработано алгоритмическое обеспечение проблемно-ориентированных систем управления пространственными данными, основанное на решении задачи классификации пространственной информации с использованием ансамблей неглубоких нейросетевых моделей, отличающееся наличием алгоритма предварительной подготовки и снижения размерности пространственных данных посредством расчета территориальных метрик, а также новым способом объединения моделей машинного обучения в ансамбли посредством расчета весовых коэффициентов классификаторов на основе матриц ошибок, позволяющее повысить устойчивость систем классификации к проблеме переобучения и снизить требования к объему размеченных наборов данных и мощности используемого аппаратного обеспечения. Учет дескрипторов, рассчитанных на основе данных космической съемки территории, цифровой модели рельефа и электронной ландшафтной карты, позволил достичь точности 89 %, что значительно больше этого параметра для сверточной нейросетевой модели. При этом анализ дескрипторов рельефа увеличивает точность на 3 %, а метрик, рассчитанных на основе ландшафтных карт, – на 11 %. Важно то, что картограммы представленных дескрипторов хорошо интерпретируются специалистами в области анализа данных в науках о Земле. Важным преимуществом предложенного подхода является его устойчивость в условиях дефицита размеченных данных, характерного для организационных систем значительного территориального охвата, а также возможность повторного использования в рамках исследования новых территориальных систем при условии дообучения и тонкой настройки.

5. Разработан и реализован в виде комплекса программ репозиторий глубоких нейросетевых моделей анализа пространственных данных, отличающийся применением модели хранения данных, в рамках которой реестр глубоких нейронных сетей ассоциирован с информацией о проектных задачах и анализируемых пространственных данных, новым графическим языком проектирования моделей с возможностью их трансляции в программный код, информационной системой подбора модели, позволяющий решить задачу накопления моделей машинного обучения в проблемно-ориентированных системах управления организационными территориально распределенными системами для эффективного решения проектных задач в области обеспечения условий устойчивого развития регионов. Разработана формализованная схема хранения моделей в форме метаязыка, которая делает возможной их конвертацию в представления, используемые современными фреймворками машинного обучения. С точки зрения программной реализации каркас системы функционирует на основе архитектурного паттерна MVC, 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.

6. Разработана и реализована в виде программного каркаса практико-ориентированная геопортальная технология управления пространственно распределенными организационными системами, отличающаяся новой

модульной организацией компонентов на основе микросервисной архитектуры и комплексным подходом к решению задач мониторинга, удаленного управления и аналитики, позволяющая обеспечить эффективное развертывание веб-ориентированных геоинформационных систем для визуализации и распространения пространственных данных об организационных территориально распределенных системах. Геопортальный каркас реализует обоснованный реестр требований: возможность комбинированного стилизованного отображения векторных и растровых тематических слоев и картографической основы, реализация инструментов навигации по пространственной базе данных и доступа к атрибутивным характеристикам пространственных объектов, возможность получения иной пространственно-ассоциированной текстовой и мультимедийной информации, функционирование системы администрирования базы пространственных данных, возможность модульной интеграции с компонентами Интернета вещей.

7. На основе разработанного геопортального программного каркаса функционируют геопорталы, созданные при поддержке различных фондов и организаций: «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» (грант РФФИ), «Метагеосистемы Мордовии» (грант РНФ) и «Цифровая карта "Путешествуем с Русским географическим обществом"» (грант РГО). Проекты выполняют функцию организации управления региональными системами природного, культурного и исторического наследия. Разработан модульный инструментарий для обеспечения интеграции устройств Интернета вещей вокруг геопортальных технологий диспетчеризации для решения задачи дистанционного управления территориально распределенными организационными системами. Использование разработанной геопортальной программной платформы для создания геопортала «Природное и культурное наследие Республики Мордовия» позволило региональному отделению Русского географического общества сократить время разработки на 61 %, и снизить стоимость внедрения на 71 % в сравнении с конкурентными программными решениями. По данным подсистемы аналитики, проект посетило 388,5 тысяч уникальных посетителей. Значительную долю трафика сформировали посетители из всех регионов России, а также Китая, Казахстана, Белоруссии, США, Германии, Финляндии и других стран. Проект интересен людям 25–44 лет (46 %), значительную долю посетителей составляют школьники и студенты (24 %). Ключевые интересы посетителей – строительство, развлечения и досуг, финансы и бизнес, образование, рекреация и туризм.

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ по специальностям 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки) и 05.13.10. Управление в социальных и экономических системах (технические науки)

1. Бершадский, А. М. Управление природно-социально-производственными системами на основе пространственных данных / А. М. Бершадский, С. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 10. – С. 10–17. – doi: 10.17513/snt.39785 (№ 2481 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К1).

2. Ямашкин, С. А. Управление в организационных системах на основе пространственных данных: геопортальный подход / С. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 3. – С. 57–61. – doi: 10.17513/snt.39556 (№ 2481 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К1).
3. Ямашкин, С. А. Управление природно-социально-производственными системами посредством геопорталов / С. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 7. – С. 122–128. – doi: 10.17513/snt.39705 (№ 2481 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К1).
4. Куманькин, Д. С. Архитектурные принципы построения конвейеров машинного обучения для решения задачи управления процессом анализа данных дистанционного зондирования Земли / Д. С. Куманькин, С. А. Ямашкин // Нелинейный мир. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 27–37. – doi: 10.18127/j20700970-202303-03 (№ 1909 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).
5. Ямашкин, А. А. Информационные ресурсы регионального геопортала как основа управления метагеосистемами региона / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, Д. С. Куманькин, М. А. Скворцов // Нелинейный мир. – 2023. – Т. 21, № 2. – С. 47–60. – doi: 10.18127/j20700970-202302-04 (№ 1909 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).
6. Ямашкин, А. А. Геопортал природного и культурного наследия как инструмент управления системами туристско-рекреационного освоения / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 5 (101). – С. 701–714 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).
7. Ямашкин, А. А. Управление территориальными системами культурного ландшафта / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3 (99). – С. 171–181 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).
8. Ямашкин, С. А. Многофакторный анализ межкомпонентных связей в геосистемах на основе имитационного моделирования и численных методов / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин, А. В. Кирюшин // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11 (95). – С. 411–424 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).
9. Ямашкин, С. А. Анализ межкомпонентных связей в метагеосистемах на основе имитационного моделирования / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина, В. В. Никулин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – № 4. – С. 78–87. – doi: 10.24143/2073-5529-2022-4-78-87 (№ 369 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).
10. Ямашкин, С. А. Проектно-ориентированные геопортальные системы в решении задачи прогнозирования уровней воды в период весеннего половодья / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 11-1. – С. 75–81 (№ 2146 Перечня ВАК РФ от 21.12.2021, категория К1).
11. Правосудов, А. Р. Интернет вещей: организация автоматизированного полива / А. Р. Правосудов, С. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 2. – С. 83–87 (№ 2481 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К1).
12. Проектирование репозитория глубоких нейронных сетей: анализ функциональных требований и разработка метаязыка для описания моделей / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 9. – С. 138–142. (№ 2146 Перечня ВАК РФ от 21.12.2021, категория К1).
13. Ямашкин, С. А. Интеграция, хранение и обработка больших массивов пространственно-временной информации в цифровых инфраструктурах пространственных данных / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 5. – С. 108–113 (№ 2146 Перечня ВАК РФ от 21.12.2021, категория К1).
14. Ямашкин, С. А. Разработка рекомендательной системы для подбора и конфигурирования глубоких нейросетевых моделей / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 12 (96). – С. 147–154 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).

15. Ямашкин, С. А. Репозиторий нейросетевых моделей для анализа пространственных данных / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина, А. А. Ямашкин // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 12 (96). – С. 245–256 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).

16. Ямашкин, С. А. Анализ производительности и оптимизация высоконагруженных геопортальных систем / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 10. – С. 108–112 (№ 2146 Перечня ВАК РФ от 21.12.2021, категория К1).

17. Анализ принципов и методов формирования хранилища временных рядов и организации программных интерфейсов в репозитории нейросетевых моделей / С. А. Ямашкин, М. А. Скворцов, М. В. Большакова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 8. – С. 143–147 (№ 2146 Перечня ВАК РФ от 21.12.2021, категория К1).

18. Ямашкин, С. А. Геосистемный подход в развитии методов и алгоритмов анализа пространственных данных / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин, А. В. Кирюшин // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11 (95). – С. 283–293 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).

19. Камаева, А. А. Применение нейросетевых подходов для сегментации геопрограммных изображений при решении задач управления территориальными системами / А. А. Камаева, А. С. Ротанов, Ю. Е. Тепаева, С. А. Ямашкин // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 2 (98). – С. 224–234 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).

20. Ямашкин, С. А. Трансляция нейросетевых моделей в программный код на языке программирования высокого уровня / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 6 (90). – С. 226–232 (№ 1336 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К2).

21. Ямашкин, С. А. Разработка прикладного программного интерфейса для обеспечения обмена данными с репозиторием нейросетевых моделей / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина, А. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 5-2. – С. 226–231. – doi: 10.17513/snt.39175 (№ 2481 Перечня ВАК РФ от 20.02.2024, категория К1).

22. Сравнительный анализ подходов к управлению базами данных для организации хранилища репозитория нейросетевых моделей / С. А. Ямашкин, М. А. Скворцов, М. В. Большакова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 6-1. – С. 108–113 (№ 2146 Перечня ВАК РФ от 21.12.2021, категория К1).

Публикации в изданиях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ в области приложения результатов исследования

23. Анализ опыта в области проектирования, разработки, внедрения и эффективного использования цифровых инфраструктур пространственных данных в области устойчивого развития территорий / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, В. В. Занозин [и др.] // Астраханский вестник экологического образования. – 2020. – № 1. – С. 107–128.

24. Вдовин, С. М. Географический портал как модель национального ландшафта / С. М. Вдовин, С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин // Вестник Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина. – 2016. – № 3 (52). – С. 146–154.

25. Геоконцептная система как фактор устойчивого развития региона / С. М. Вдовин, А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин, С. А. Ямашкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 2 (18). – С. 65–77.

26. Использование ансамбль-систем для картографирования ландшафтов / С. А. Ямашкин, М. М. Радованович, А. А. Ямашкин [и др.] // Геодезия и картография. – 2016. – № 7. – С. 42–49.

27. Систематизация данных в цифровых инфраструктурах пространственных данных / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина [и др.] // Московский экономический журнал. – 2021. – № 10. – doi: 10.24411/2413-046X-2021-10590

28. Системные аспекты анализа геопрограммной информации в цифровых инфраструктурах пространственных данных для оценки потенциала минерально-сырьевой

ресурсной базы / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 1. – С. 56–63.

29. Тестовые полигоны для диагностики состояния геосистем и развития методов интерпретации данных дистанционного зондирования Земли / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, М. Р. Байчуринов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2022. – № 4. – С. 4–18. – doi 10.17308/geo/1609-0683/2022/4/4-18

30. Ямашкин, А. А. Внедрение цифровых технологий в образовательный процесс: познаем мир и путешествуем с помощью геоинформационных систем / А. А. Ямашкин, В. З. Макаров, С. А. Ямашкин // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8, № 2. – doi: 10.55186/2413046X_2023_8_2_89

31. Ямашкин, А. А. Геопорталы как инструмент доступа к облачным хранилищам данных о метагеосистемах / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 251–261. – doi: 10.18500/1819-7663-2022-22-4-251-261

32. Ямашкин, А. А. Методика функционального геоэкологического зонирования метагеосистем для целей устойчивого эколого-социально-экономического развития региона (на примере Республики Мордовия) / А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин, С. А. Ямашкин // International Agricultural Journal. – 2022. – Т. 65, № 3. – С. 1100–1119. – doi: 10.55186/25876740_2022_6_3_9

33. Ямашкин, А. А. Пространственно-временное прогнозирование оползневых процессов на основе геосистемного подхода / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, О. А. Зарубин // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 6. – С. 129–137.

34. Ямашкин, А. А. Разработка проектно-ориентированной инфраструктуры пространственных данных с применением облачных технологий / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, С. А. Федосин // Радиопромышленность. – 2019. – № 3. – С. 79–90.

35. Ямашкин, А. А. Синтез и распространение пространственных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Региональные геосистемы. – 2022. – Т. 46, № 2. – С. 241–253. – doi: 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

36. Ямашкин, С. А. Повышение эффективности процесса интерпретации данных дистанционного зондирования Земли за счет анализа дескрипторов окрестности / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 352–365.

37. Ямашкин, С. А. Проектирование нейросетевых моделей посредством методов визуального программирования / С. А. Ямашкин, А. А. Камаева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2021. – № 3 (59). – С. 14–24.

Статьи в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus

38. Разработка алгоритма классификации данных дистанционного зондирования Земли с применением методов глубокого машинного обучения для анализа геосистемной модели территории / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, В. В. Занозин [и др.] // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82, № 4. – С. 54–64.

39. Ямашкин, А. А. Анализ метагеосистем полигона «Инерка» посредством ансамблей моделей машинного обучения / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 613–628. – doi: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-613-628

40. Ямашкин, С. А. Классификация метагеосистем с применением моделей машинного обучения / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин // Геодезия и картография. – 2022. – Т. 83, № 7. – С. 25–38. – doi: 10.22389/0016-7126-2022-985-7-25-38

41. Ямашкин С. А. Проблемы проектирования геопортальных интерфейсов / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 2. – С. 46–56.

42. Ямашкин, С. А. Повышение эффективности процесса интерпретации данных дистанционного зондирования Земли за счет анализа дескрипторов окрестности / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 352–365. – doi: 10.15507/0236-2910.028.201803.352-365
43. Classification of Metageosystems by Ensembles of Machine Learning Models / S. Yamashkin, A. Yamashkin, M. Radovanović [et al.] // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2022. – Vol. 70, № 9. – P. 258–268.
44. Configuring and Optimizing of Convolutional Neural Networks for Analyzing the Structure of Metageosystems / S. A. Yamashkin, A. A. Yamashkin, A. A. Kamaeva [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – № 597. – P. 346–356.
45. Cultural Landscapes Space-Temporal Systematization of Information in Geoportals for the Purposes of Region Tourist and Recreational Development / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin, M. Yu. Aksyonova [et al.] // Geojournal of Tourism and Geosites. – 2020. – Vol. 29, № 2. – P. 440–449.
46. Development of the Regional Water Balance Regulation Concept Based on the Geosystem Approach / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin, N. S. Muchkaeva [et al.] // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2022. – Vol. 26, № 3. – P. 1672–1683. – doi: 10.11591/ijeecs.v26.i3.pp1672-1683
47. Geoinformation Support of Tourist and Recreation Development of Cultural Landscape of the Republic of Mordovia (Russia) / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin, M. M. Radovanovich [et al.] // Geojournal of Tourism and Geosites. – 2021. – Vol. 37, № 3. – P. 873–879.
48. Geoportal Systems as an Access Point to Spatial Data Infrastructure / S. A. Yamashkin, A. A. Yamashkin, M. M. Radovanović [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – № 596. – P. 598–612.
49. Improving the Efficiency of Deep Learning Methods in Remote Sensing Data Analysis: Geosystem Approach / S. A. Yamashkin, A. A. Yamashkin, V. V. Zanozin [et al.] // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 179516–179529.
50. Improving the Efficiency of the ERS Data Analysis Techniques by Taking into Account the Neighborhood Descriptors / S. Yamashkin, M. Radovanovic, A. Yamashkin [et al.] // Data. – 2018. – Vol. 3, № 2. – P. 18.
51. Matters of Neural Network Repository Designing for Analyzing and Predicting of Spatial Processes / S. A. Yamashkin, A. A. Kamaeva, A. A. Yamashkin [et al.] // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2021. – Vol. 12, № 5. – P. 17–22.
52. Metageosystem Analysis Based on a System of Machine Learning and Simulation Algorithms / S. Yamashkin, A. Yamashkin, M. Radovanović [et al.] // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2022. – Vol. 70, № 12. – P. 1–12. – doi: 10.14445/22315381/IJETT-V70I12P201
53. Methods and Architectural Patterns of Storage, Analysis and Distribution of Spatio-temporal Data / S. Yamashkin, E. Yamashkina, A. Yamashkin [et al.] // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2021. – Vol. 12, № 8. – P. 576–582.
54. Problems of Designing Geoportal Interfaces / S. A. Yamashkin, M. M. Radovanović, A. A. Yamashkin [et al.] // GeoJournal of Tourism and Geosites. – 2019. – Vol. 24, № 1. – P. 88–101.
55. Using Ensemble Systems to Study Natural Processes / S. Yamashkin, M. Radovanovic, A. Yamashkin [et al.] // Journal of Hydroinformatics. – 2018. – Vol. 20, № 4. – P. 753–765.
56. Yamashkin, A. A. Concept of the Spatial-Temporal Design of Cultural Landscape / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 1168–1180.
57. Yamashkin, S. Development of Architecture and Software Implementation of Deep Neural Network Models Repository for Spatial Data Analysis / S. Yamashkin, E. Yamashkina, A. Yamashkin // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2021. – Vol. 12, № 8. – P. 583–588.

58. Yamashkin, S. Project-oriented Spatial Data Infrastructures / S. Yamashkin, A. Yamashkin, S. Fedosin // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 1181–1190.

59. Ямашкин, С. А. Управление природно-социально-производственными системами на основе концепции Интернета вещей: геопортальный подход / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин // *Геодезия и картография*. – 2023. – Т. 84, № 9. – С. 34–43. – doi: 10.22389/0016-7126-2023-999-9-34-43

60. Ямашкин, А. А. Управление метагеосистемами региона на основе идентификации, анализа и мониторинга рисков / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 123–142. – doi: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-123-142

61. Yamashkin, S. A. Geoportals in Solving the Problem of Control over Spatially Distributed Systems / S. A. Yamashkin, A. A. Yamashkin, S. A. Fedosin // *Proceedings of 2023 5th International Conference on Control in Technical Systems (CTS 2023)*. – Saint Petersburg, 2023. – P. 28–31. – doi: 10.1109/CTS59431.2023.10288771

62. Yamashkin, S. A. Design and Deployment of Geoportal Systems to Provide Support for Management Decision-Making in Natural-Social-Production Systems / S. A. Yamashkin, A. A. Yamashkin // *Proceedings of 2023 16th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD 2023)*. – Moscow, 2023. – P. 1–5. – doi: 10.1109/MLSD58227.2023.10304050

63. Risk-Oriented Geoportal Systems and the Internet of Things as a Tool for Managing Metageosystems / S. Yamashkin, A. Yamashkin, M. Radovanović [et al.] // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2023. – № 71 (11). – P. 159–170.

64. Development of Meta-Geosystems of Tourist and Recreational Clusters / A. A. Yamashkin, M. M. Radovanović, S. A. Yamashkin [et al.] // *Indonesian Journal of Geography*. – 2023. – № 55 (2). – P. 190–196.

65. Yamashkin, S. A. Implementation of Geoportals as a Problem-Oriented Tool for Managing Natural-Social-Production Systems / S. A. Yamashkin, A. A. Yamashkin, M. M. Radovanović [et al.] // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2024. – № 934. – P. 94–104.

Результаты интеллектуальной деятельности

66. Патент 2818866 Российская Федерация, МПК G06F 17/40. Геопортальная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами / С. А. Ямашкин, М. В. Баландин ; заявитель и патентообладатель ООО «Цифровые Геосистемы». – № 2023124548 ; заявл. 25.09.2023 ; опубл. 06.05.2024. – 21 с.

67. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный код автоматизированной системы анализа данных ДЗЗ для мониторинга состояния земель и прогнозирования природных стихийных процессов / Ямашкин С. А., Ладанова Е. О. – № 2018611185 ; зарегистрировано 24.01.2018.

68. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Программный код глубокой нейросетевой модели GeoSystemNet / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2020619333 ; зарегистрировано 17.08.2020.

69. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный код глубокой нейросетевой модели для прогнозирования развития пространственно-временных процессов / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2020662474 ; зарегистрировано 14.10.2020.

70. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный код веб-интерфейсов для визуализации электронных карт / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2021619884 ; зарегистрировано 18.06.2021.

71. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный каркас репозитория глубоких нейросетевых моделей / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А., Ямашкина Е. О. – № 2021665216 ; зарегистрировано 21.09.2021.

72. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа консолидации синтетических дескрипторов территории и обучения нейросетевой модели

для их анализа / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2022661081 ; зарегистрировано 15.06.2022.

73. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа классификации пространственных данных на основе сверточных сетей и ансамблей нейросетевых моделей / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2022661348 ; зарегистрировано 20.06.2022.

74. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа сегментации пространственных данных на основе сверточной нейросетевой модели / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2022680522 ; зарегистрировано 02.11.2022.

75. Свидетельство о государственной регистрации БД. Система тематических карт для тестовых полигонов Республики Мордовия / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2022622684 ; зарегистрировано 31.10.2022.

76. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный код функционирования устройств Интернета вещей с применением технологии LoRa сетей / Ямашкин С. А., Масляев Д. С., Правосудов А. Р., Сергеев И. С. – № 2023683595 ; зарегистрировано 13.11.2023.

77. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный код компонентов геопортальной системы для визуализации метагеосистем / Ямашкин С. А., Ямашкин А. А. – № 2023684082 ; зарегистрировано 13.11.2023.

Монографии

78. Интеграция знаний в цифровых инфраструктурах пространственных данных / **С. А. Ямашкин**, А. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина, В. В. Занозин. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 2021. – 216 с.

79. Ямашкин А. А. Цифровые инфраструктуры пространственных данных и модели метагеосистем территорий для устойчивого развития регионов / А. А. Ямашкин, **С. А. Ямашкин**. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 2023. – 208 с.

Научное издание

ЯМАШКИН Станислав Анатольевич

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

**Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах
(технические науки)**

Редактор *Л. Ю. Зимина*
Технический редактор *Н. В. Иванова*
Компьютерная верстка *Н. В. Ивановой*

Подписано в печать 05.07.2024. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 2.32. Заказ № 274. Тираж 100.

Издательство ПГУ.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru